



Tallinna Tehnikakõrgkooli üliõpilaste toimetised nr 23

2018



Tallinna Tehnikakõrgkooli üliõpilaste toimetised nr 23

Koostaja ja toimetaja: Anne Kraav
Tehniline toimetaja: Heleri Michalski
Väljaandja: Tallinna Tehnikakõrgkool
Pärnu mnt 62, 10135 Tallinn

ISSN 1406-7641



Sisukord

4	Saateks
4	Foreword

Grethe-Johanna Ploompuu

(Tallinna Tehnikakõrgkooli keskkonnatehnoloogia eriala 2018. aasta vilistlane)

5	Eesti tervishoiuasutustes tekkivate jäätmete käitluse juhendmaterjal
11	Healthcare Waste Management in Estonia

Sten Vendik

(Tallinna Tehnikakõrgkooli rakendusarhitektuuri eriala 2018. aasta vilistlane)

13	Paevälja mälestusteaed
21	The Garden of Remembrance in Paevälja

Mario Evestus

(Tallinna Tehnikakõrgkooli transpordi ja logistika eriala 2018. aasta vilistlane)

23	Kaitseväe maismaasõidukite elutsükli kulumudel
28	Life-Cycle Cost Model of Land Vehicles of the Estonian Defence Forces

Kristjan Kabanen

(Tallinna Tehnikakõrgkooli masinaehituse eriala 2018. aasta vilistlane)

29	Team Eco Race Estonia võistlusauto tugevusanalüüs
35	Project Team Eco Race Estonia racing vehicle frame

Hans Juurikas

(Tallinna Tehnikakõrgkooli tööstustehnoloogia ja turunduse eriala 2018. aasta vilistlane)

36	Kroomi elektrolüütilise pindamise tehnoloogia väljatöötamine
41	The Electrolytic Coating Technology for Steels and Aluminium Alloys

Kristi Suup

(Tallinna Tehnikakõrgkooli rõiva- ja tekstiilia ressurssikorralduse eriala 2018. aasta vilistlane)

43	Kaitseväe rõivastuse käitlemise võimalused lähtuvalt ringmajanduse mudelist
46	Possibilities for Handling Garment Waste of the Estonian Defence Forces According to the Circular Economy Model

Gerhard Markus Trumm

(Tallinna Tehnikakõrgkooli teedehituse eriala 2018. aasta vilistlane)

48	Riigimaanteedel 2017. aastal teostatud plaatkoormus-katsetuste praktika analüüs ja teiste riikide kogemused
53	An analysis of plate load test practice on national roads in Estonia

Saateks

Hea lugeja!

Lugupeetud lugeja, teie käes on Toimetised nr 23. Antud kogumikus on seitse artiklit, mille autoriteks on TTK üliõpilased. See on kogum artikleid üliõpilaste teadus- ja arendustöödest ning sisaldab valikut käesoleval aastal enam tähelepanu pälvinud lõputöödest.

Kogumikku on koondatud tööd väga erinevatest valdkondadest ja annavad üsna tõepärase läbilõike TTK õppekavadest. Artiklite valikul on arvestatud, kõrvuti teemade aktuaalsusega, ka üliõpilase oskust probleemi või katsetulemusi analüüsida.

Artikli koostamisel on juhendajal nõuandev roll ning nad ei esine artiklite kaasautoritena. Artiklis toodud väidete ja tulemuste õigsuse eest vastutab eelkõige autor, aga kuna need tööd on läbinud lõputöö kaitsmise protseduuri, siis kahtlemata kajastub nendes töödes ka instituutide erialane teadustöö.

Loodame, et kogumikku valitud artiklid pakuvad huvi nii TTK liikmeskonnale kui ka meie koostööpartneritele.

Anne Kraav
arendusprorektor

Foreword

Dear reader,

This is Publications No. 23. The current collection comprises seven articles, the authors of which are the students of TTK UAS. It is a collection of articles about the students' research and development papers and includes a selection of the most outstanding graduation theses.

The collection features research papers from various fields and provides a rather credible insight into the curricula of TTK UAS. Next to being current, the choice of the articles is based on the students' skills to analyse a problem or test results.

The supervisors have advisory roles in compiling the articles, and they are not co-authoring the given articles. The authors of the articles assume responsibility for the correctness of claims and results, however, as the theses have been through the defence process, professional research of the institutes is assuredly reflected.

We hope that the articles chosen for the present collection would be of interest to both our personnel at TTK UAS and our partners.

Anne Kraav
Vice-Rector for Development

□ Eesti tervishoiuasutustes tekkivate jäätmete käitluse juhendmaterjal

Autor: Grethe-Johanna Ploompuu

Juhendajad: Tallinna Tehnikakõrgkooli ringmajanduse ja tehnoloogia instituudi lektor **Monica Vilms**, Eesti Jäätme käitlejate Liidu keskkonnaspetsialist **Marit Liivik**

□ Sissejuhatus

Maailmas aina kasvava rahvastiku arvuga seoses tekib ka tervishoiuasutustes järjest suurenev hulk jäätmeid, millest tulenevalt tuleb nende käitlemisele pöörata suuremat tähelepanu. Tervishoiutöötajate esmaseks ülesandeks on patsientide ravimine, seega peavad asutustes olema olemas selged juhendmaterjalid jäätmete käitlemiseks, millest lähtuvalt jõuavad jäätmed õigesti kohtadesse ning elimineeritakse edasine oht tervisele ning looduskeskkonnale.

Eesti Jäätme käitlejate Liidu poolt tuli pakkumine lõputöö raames koostada uus juhendmaterjal Eesti tervishoiuasutustele. Nimelt on eelnev juhend pärit aastast 2001 ning koostatud Taani firma poolt. Praeguseks on sellest möödunud 17 aastat, mistõttu on juhend vananenud. Muutunud on paljud seadused ning kättesaadavad on uued tehnoloogiad ja vahendid nii jäätmete sortimiseks kui ka käitlemiseks.

Lõputöö eesmärgiks on välja töötada jäätmete käitlemise juhendmaterjal Eesti tervishoiuasutustele. Selle saavutamiseks on analüüsitud erinevaid olemasolevaid juhendmaterjale ning külastatud Eesti tervishoiuasutusi. Hetkel on eri asutustes kasutusel mitmesugused süsteemid ning ka tervishoiuasutuste suurused on väga erinevad alates haiglatest kuni väikeste hambaarsti kabinettideni. Seega tuleb leida lahendus, mis sobiks nii väikestele kui ka suurtele asutustele ja luua süsteem, mille saavad kõik aluseks võtta.

Antud lõputöös on käsitletud järgnevad teemad. Töö teoreetiline osa algab kehtivate õigusaktide ülevaatega. Välja on toodud olulised õigusaktid nii Eestist kui ka Euroopa Liidust, mis reguleerivad tervishoiuasutustes tekkivate jäätmete käitlust. Sellele järgneb kirjeldus tervishoiuasutustes tekkivatest ennetusmeetoditest. Töös on kirjeldatud ohtlike jäätmete käitlemise tehnilised aspektid

ning erinevad võimalikud käitlusmeetodid, soovituslikud kogumislahendused, jäätmetekke vähendamise võimalused ning lühidalt antakse ülevaade ka haiglate reoveega kaasnevatest probleemidest. Tervishoiuasutuste jäätme käitluse hetkeseisuga tutvumiseks külastati järgnevaid haiglaid: Põhja-Eesti Regionaalhaigla, Pärnu Haigla, Tartu Ülikooli Kliinikum ning Järvmaa Haigla. Haiglate valikul lähtuti sellest, et saaks ülevaate protsessi toimumisest nii suuremates kui ka väiksemates Eesti haiglates. Töö tegemisel ja juhendmaterjali koostamisel on kasutatud nüüdseks juba aegunud DANCEE (Danish Cooperation for Environment in Eastern Europe) poolt 2001. aastal koostatud „Eesti riiklik juhendmaterjal tervishoiul tekkivate jäätmete käitluseks“. Antud juhendmaterjal on ülevaade õigusaktidest, jäätmetekitajate ja -liikide määratlus, käitumisreeglite ja protseduuride üldised põhimõtted, transpordist, töötlemisest ja riiklikust ülesehitusest. Olulisemateks allikateks lõputöö kirjutamisel ja juhendi koostamisel on WHO (World Health Organisation) poolt koostatud juhendmaterjalid ning Eesti ja Euroopa Liidu õigusaktid. Seega on andmete kogumise meetodina kasutatud vaatlust, intervjuusid ning seaduste analüüsi.

□ Õigusaktid

Tervishoiuasutustes tekkivate jäätmete käitlemist reguleerivad paljud õigusaktid. Nii mõnegi tegevuse puhul on kindlaks määratud täpsed käitumisreeglid, teiste puhul on asutustel vabamad käed tegutsemiseks nagu näiteks nakkusohtlike jäätmete määramisel Euroopa Parlamendi ja Komisjoni määruse nr 1357/2014 järgi. Olulisemad õigusaktid on jäätmeseadus, töotervishoiu ja tööohutuse seadus, ravimiseadus ning mitmetest Euroopa Liidu direktiividest ja eelpool loetletutest tulenevad rakendusaktid. Samuti peavad tervishoiuasutused

jälgima ka kemikaaliseadust, nakkushaiguste ennetamise ja tõrje seadust ning kiirgusseadust. [1]

□ Tervishoiuasutused ja nende jäätmed

Aina suurenev hulk jäätmeid tekib terves maailmas ning ka tervishoiuasutused ei ole mingi erand. Suurem osa tervishoiuasutustes tekkivatest jäätmetest on küll olmejätmed, mis ei kujuta endast ohtu, kuid teine osa jäätmetest on nakatatud infektsioonsete bakteritega ning on seetõttu ohuks nii inimestele kui ka keskkonnale. Tüüpiline jäätmete tervishoiuasutuses on 85% ulatuses olmejätmed, mis on võrreldavad tavaliste majapidamisjäätmetega, ülejäänud 15% on ohtlikud nii inimeste tervisele kui ka keskkonnale. Ohtlikud jäätmed jagunevad veel omakorda 5% ulatuses keemilisteks ja radioaktiivseteks jäätmeteks ning 10% on nakkusohtlikud jäätmed. [23], [24], [25]

Et jäätmed ei kujuneks ohuks peab eeskätt meditsiinipersonal olema teadlik tagajärgedest, mis ilmnevad jäätmete ebaõigel haldamisel. Selle tarbeks tuleb tervishoiuasutustes välja töötada juhendmaterjalid. [23]

Juhendmaterjalid on väga olulised, et vähendada riski tervishoiuasutuste personali tervisele ja keskkonnale. Seetõttu on oluline kõiki töötajaid vastavalt juhendada ning viia läbi koolitusi ja panna paika täpsed juhised protseduuride läbiviimiseks. Töötajad peavad olema teadlikud tervishoiujäätmetega kaasnevatest riskidest ning oskama erinevate jäätmetega vastavalt nende iseloomule ringi käia. Tagatud peavad olema isikukaitsevahendid, hügieeni võimalused ning õnnetusjuhtumite korral ka vastavad vahendid nende lahendamiseks. Juhendamine tuleb kindlasti läbi viia enne tööle asumist ning hiljem regulaarselt. [24]

Juhendmaterjalide olemasolu riiklikul tasandil aitab soodustada kõrgemal tasemel keskkonna loomist tervishoiuasutustes. Lisaks töötab tervishoiuasutuste personal sageli mitmes eri asutuses samaaegselt, seega lihtsustab ühine juhendmaterjal jäätmete sortimist ning ei tekita segadust. Käesoleval hetkel on Eestis olemas vaid 2001. aastal loodud juhendmaterjal, mida uuendatakse antud töö käigus kogutud materjali abil. [25]

Tervishoiuasutustes puutuvad jäätmetega kokku nii patsiendid kui ka personal, seetõttu on kindlasti tarvis jäätmetega tegelevat üksust, kellel on olemas vastavad teadmised ja ressursid, et viia läbi koolitusi ja kõiki jäätmeid puudutavaid tegevusi. Suuremates haiglates võib vajalik olla moodustada kõige planeerimiseks töörühm, kuhu kuuluvad nii arstid, infektsionistid, haldustöötajad, tehnikud ning muudest valdkondadest inimesed. Väiksema-

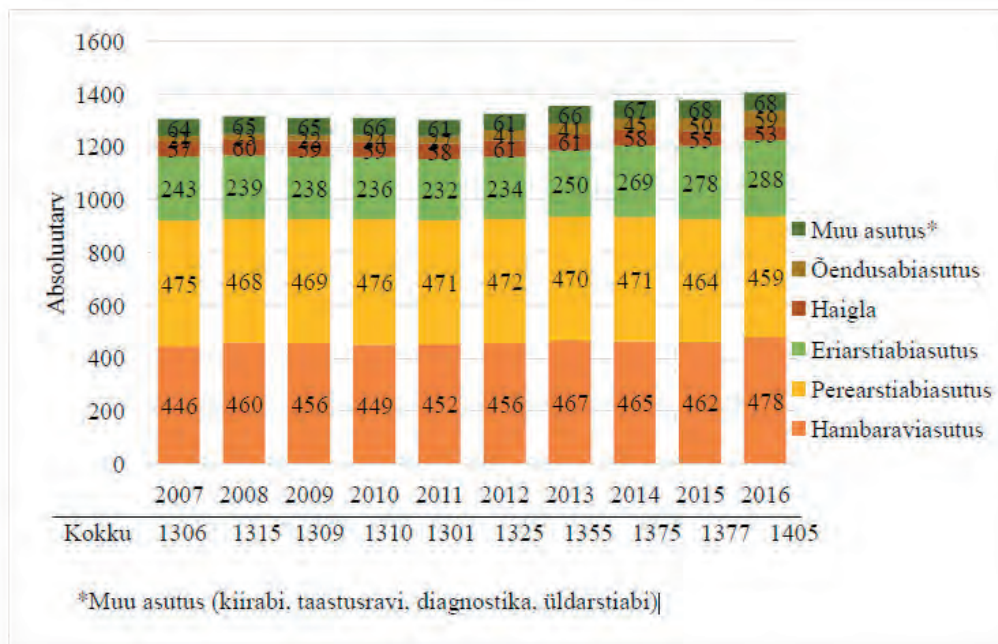
tes asutustes võib antud töö olla ühe isiku põhitööks, kes vajadusel saab tuge keskkonnaspetsialistidelt, infektsionistidelt ning muudelt isikutelt. Veel väiksemates asutustes nagu hambarsti kabinetid, ei pruugi olla ressursse eraldi keskkonnaspetsialisti palkamiseks, kuid kindlasti peab olema vastutav isik, kes saab tuge ja teadmisi vajalikke koolitusi läbides. [25]

□ 2.1. Tervishoiuasutused Eestis

Peamiseks tervishoiujäätmete tekitajaks on haiglad, kuid lisaks on veel palju teisigi asutusi, kus selliseid jäätmeid tekib. Nendeks on hambaravi- ja veterinaariakabinetid, meditsiiniõed ning koduse hooldustegevuse struktuurid, laboratooriumid, taastusraviasutused, dispanserid, vereülekandekeskused ja -pangad ning meditsiiniõppe- ja uurimisasutused. [23]

Tervishoiuteenuse osutajaks Eestis loetakse Terviseametilt vastava tegevusloa saanud tervishoiuteenuseid osutavat juriidilist isikut. Tervishoiuasutustes pakutakse paljusid teenuseid erinevatel tasemetel: esmatasandi arstiabi, hambaravi, päevaravi, erakorralisi tervishoiuteenuseid, haiglapõhiseid aktiivravi-, taastusravi- ja õendusabi-teenuseid. Haiglad jagunevad Eestis madalama ja kõrgema taseme haiglateks. Kõrgema taseme haiglateks on piirkondlikud haiglad, mis teenindavad reeglina suuremaid rahvahulkasid ja piirkondi ning tegelevad keerulisemate ja kallimate haigusjuhtudega omades suuremat kompetentsi ja vajalikku aparatuuri. Madalama taseme haiglad paiknevad tihedamalt ning teenuste valik on samuti piiratum võrreldes kõrgema taseme haiglatega. Madalama taseme haiglate alla lähevad kesk-, üld-, eri- ja kohalikud haiglad. Joonis 2 on välja toodud tervishoiuteenuste osutajate arv ajavahemikus 2007-2016 ning asutused on eraldi liigitatud peamise osutatava teenuse järgi. [27]

Tervise Arengu Instituudi andmetel oli 2016. aasta lõpu seisuga Eestis registreeritud 1405 tervishoiuteenuse osutajat. 2007. aastaga võrreldes on asutuste arv kasvanud 99 võrra. Keskmiselt on igal aastal juurde tulnud 60 asutust ning töö lõpetanud 49. Vaadeldud ajavahemiku jooksul on tegevust alustanud ja lõpetanud 70 asutust, mille keskmiseks tegevusajaks on olnud 2,5 aastat. Kui asutus suudab juba 2-3 aastat tegutseda, siis statistika kohaselt jätkab ta tegevust ka tulevikus. Viimase kümne aasta puhul võib statistikast näha, et tervishoiusektoris tegutsevate asutuste arv on olnud suhteliselt stabiilne. [27]



▲ **Joonis 2.** | Tervishoiuteenuse osutajate arv peamise osutatava teenuse järgi, 2007-2016. a [27]

□ 2.2. Tervishoiuasutustes tekkivad ohtlikud jäätmed

Tervishoiuasutustes tekib erinevaid jäätmeliike sarnaselt majapidamistele, lisaks tavajäätmetele tekivad ka ohtlikud jäätmed, mis kujutavad endast patogeensete ehk haigusttekitavate bakterite koldeid. Tervishoiuasutuste jäätmete (tervishoiujäätmed) alla kuuluvad kõik jäätmed, mis on tekkinud antud asutustes, uuringukeskustes ja laboratooriumites. Samuti kuuluvad siia jäätmed, mis on tekkinud näiteks koduse ravi käigus. [23], [24]

Ohtlikud jäätmed – jäätmed, mis vähemalt ühe ohtliku omaduse tõttu võivad olla ohtlikud inimese varale, tervisele või keskkonnale. Ohtlikud omadused on nimetatud komisjoni määruse (EL) nr 1357/2014 lisas. Nendeks on näiteks plahvatusohtlik, oksüdeeriv, tuleohtlik, kantserogeenne, söövitav, nakkust tekitav jpm omadused. [1], [2]

Ohtlike jäätmete hulka kuuluvad:

- Teravad ja torkivad jäätmed – koosnevad enamasti süstlanõeltest. Samasse kategooriasse kuuluvad ka skalpellid ning teised meditsiiniinstrumendid ja ka klaasikillud, mis on olnud kokkupuutes kehavedelikega. Nimest tulenevalt on antud jäätmed ohtlikud seetõttu, et võivad tekitada haavandeid, mille kaudu saavad ligipääsu haigusttekitavad bakterid. Seetõttu tuleb neid kohelda kui ohtlikke jäätmeid, isegi kui nakkusohu tegelikult puudub. [23], [24]
- Potentsiaalselt nakkusohutlikud jäätmed – an-

tud jäätmed võivad edasi kanda bakteriaalseid, viiruslikke või parasitaarseid haiguseid. Nende jäätmete hulka kuuluvad veri, teised vereproduktid, kõik verrega kokkupuutes olnud esemed, seerumid ja plasmad, äärmiselt nakkusohutlike patsientide (tuberkuloos, HIV) jäätmed, diagnostika- ning uurimislaborite patogeensed kultuurid, riknenud vaktsiinid ja ka kõik patsientide poolt nakatatud esemed, voodipesu ning muud jäätmed. Kui eseme puhul pole kindel, kas tegemist on nakkusohutliku jäätmega, siis kindluse mõttes tuleb lähtuda ettevaatusprintsibist ning see ikkagi nakkusohutlikuks jäätmeks liigitada. [25]

- Anatoomilised jäätmed – inimkeha ning ka loomade kudetest, vedelikest, kirurgilistest operatsioonidest, biopsiatest ning autopsiastest tulenevad bioloogilised jäätmed. [23]
- Keemilised jäätmed – peamiselt lahustid ja reaktiivid, samuti tehniliste ning korrashoiuteenistuste keemilised tooted ja katkised termomeetrid. Võivad olla nii vedelal, tahkel kui ka gaasilisel kujul. Ohtlikeks liigitatakse keemilised jäätmed, millel on vähemalt üks järgnevatest omadustest: toksiline, söövitav (alused $\text{pH} \rightarrow 12$ ja happed $\text{pH} \leftarrow 2$), kergesti süttiv, reaktiiv. Ohutud keemilised jäätmed ei oma ühtegi eelnevatest omadustest, nendeks on näiteks suhkrud, aminohapped ning orgaanilised ja anorgaanilised soolad. [23], [24], [28]
- Ravimijäätmed – kõikvõimalikud ravimid, mis

on kõlblikkusaja ületanud ning ravimijäägid, mis on manustamisel üle jäänud. [23]

- Tsütostaatilised jäätmed – ravimid, mille eesmärgiks on kindlate rakkude tapmine või nende kasvu peatamine. Kasutatakse enamasti vähi ravimisel. Tsütostaatiliste jäätmete alla lähevad ka antud ravimeid kasutavate patsientide väljaheited, uriin ning okse. Samuti kõik vahendid, mida kasutati ravimite manustamiseks. [24]
- Radioaktiivsed jäätmed – jäätmed, mis on nakatunud radionukliididega. Tekivad erinevate protseduuride käigus, kus kasutatakse radionukliide. Samuti radionukliididega ravitud patsientide uriin ning väljaheited. [24], [28]

2.3. Tervishoiuasutustes esinevad riskid

Ohustatud isikud on kõik, kes on ohtlike tervishoiuasutuste jäätmete läheduses, millel on potentsiaalne risk tervisele. Peamiselt on riski all arstid, õed ja haigla muu personal, patsiendid, külastajad, samuti ka jäätmete vedajad ning jäätmekeskuste töötajad. Kui jäätmeid ei kõrvaldata korrektselt, siis jõuab oht ka laiemale üldsuseni. [24]

Nakkusohu ülekannet väga ohtlike haiguste, milleks on näiteks AIDS ning B ja C hepatiit, puhul toimub kõige sagedamini haava kaudu, samuti ka läbi pritsme, mis satub silma või limaskestale. Antud viirused võivad verega täidetud süstlas olla nakkusohtlikud ligi 8 päeva, seega on süstlad suureks ohuallikaks. [23]

Mürgitusohu üheks põhjuseks võivad olla ravimid, millele pole ligipääs kõrvaliste isikute jaoks tõkestatud. Erilist tähelepanu tuleb pöörata vähiraviks kasutatavate tsütotoksiliste ehk elusrakkude suhtes toksiliste toodete jäätmetele, mis on ohtlikud kõigi elusorganismide jaoks ning ka tervisele ja looduskeskkonnale. [23]

2.4. Jäätmete käitlemine

Käitlusprotsess jagatakse 3 etappi: sortimine, kogumine ja töötlemine. [23]

Sortimise võimalikult efektiivseks muutmiseks peab see alguse saama jäätmete tekitamise hetkest. Seega peab sellega tegelema haiglapersonal, kelle esmaseks ülesandeks on küll haigete hooldamine, kuid ka jäätmete sortimine on väga tähtis tegevus, kuna pärast segajäätmete kogumist võib jäätmete ümbersortimine olla äärmiselt ohtlik. WHO poolt koostatud juhendmaterjal soovitatakse meditsiinipersonalil suhtuda jäätmete kõrvaldamisesse kui üheks osaks patsientide ravimisel. Seega saab sortimine alguse haigevoode juures,

opisaalides, ravimite ettevalmistusalal, laborites ning kõikjal muudes kohtades, kus jäätmeid tekib ning seda võimalikult algallika lähedal. Seetõttu on oluline koolitada personali ning anda selged juhised jäätmete klassifitseerimiseks. [23], [24]

Sorditud jäätmed tuleb koguda enne transporti käitlusesse vastavasse ruumi ning käsitlemine viia miinimumini, kuna sellega tegelev personalil on võimalus juhulikult ohtlike jäätmetega kokku puutuda. Ohu vältimiseks tuleb pakendada jäätmed vastavalt juhiste, kuna õige pakend on esmaseks kaitseks vigastus- ning nakkusohu eest. Samuti tuleb ohtlikke jäätmeid ladustada avalikest paikadest eemalolevates ruumides, kuhu on sissepääs ainult personalil. Korrapäraselt ruumi sissepääse sulgedes, ruume puhastades ning tõrvahendeid kasutades tuleb tagada, et ei tekiks putukaid ja parasiite ning loomad ja kõrvalistel isikutel puuduks juurdepääs jäätmetele. [23]

Äravedu toimub tavaliselt lepingu alusel jäätmekäitlusfirma poolt, kellel on vastavad load ja tingimused jäätmete käitlemiseks. Ohtlike jäätmete veol tuleb lähtuda konkreetsetest õigusaktidest, kus on sätestatud tingimused märgistusele, pakendamisele ning muudele aspektidele. Kui tegemist on „Ohtlike veoste autoveo eeskirja“ järgi väikese koguse ohtlike jäätmetega, siis ei pea määruse nõudeid rakendama ning transportida võib lubasid omamata. [23], [29]

Töötlemise juures tuleb olla kindel, et oht käitleja tervisele ja keskkonnale oleks viidud miinimumini. Selleks tuleb vältida haigusttekitavate mikroorganismide levikut ümbritsevas keskkonnas ning vähendada riski vigastada ennast nakkust kandvate vahenditega. Töötlemine võib toimuda jäätmete tekitamise asukohas või transportitakse jäätmed mujale, kus nendega tegeleb kvalifitseeritud personal ning olemas on vastavad seadmed töötlemiseks. [23]

Jäätmete töötlemise tehnoloogia valimisel tuleb arvesse võtta mitmeid aspekte: millised on ressursid ja tehnilised võimalused, seadusandlusest tulenevad regulatsioonid, süsteemide käitamiseks kuluvad ressursid, jäätmetekke maht, jäätmete iseloom, ohutus tervisele ja keskkonnale ning maksumus. Seda kõike arvesse võttes tuleb valida tervishoiuasutusele sobivaim lahendus. Ohtlike jäätmete töötlemisel on eelistatavateks variantideks nende kahjutuks muutmise auruga ehk näiteks autoklaavi kasutades või muud variandid, kus jäätmeid ei põletata. [30]

Töötlemisel on võimalik kasutada mitmeid erinevaid tehnoloogiaid. Nendeks on näiteks auruga töötlemine, põletamine, kemikaalidega töötlemine jne. Eestis töödeldakse tervishoiu ohtlikke jäätmeid enamasti autoklaavidis kombineeritud

töötlemismeetodil, kus jäätmed purustatakse, töödeldakse rõhu ja kõrge temperatuuriga ning jahutatakse maha. Hetkel on olemas autoklaavid Pärnu Haiglal, Tartu Ülikooli Kliinikumil ning Ida-Viru Keskhaiglal. Samuti on võimalik välja ehitada eraldi liin Iru jäätme põletustehases, kuid selle jaoks on hetkel puudunud suurem huvi ning ohtlike jäätmete maht ei ole nii suur, et selleks oleks vajadus. Osalt on see tingitud sellest, et RagnSells omab ohtlike jäätmete käitlusettevõtteid Lätis, kuhu transporditakse suur osa Eestis tekkivatest ohtlikest jäätmetest. [30], [31]

2.5. Jäätmete süsteemne kogumine

Idealis võiks kõikides tervishoiuasutustes olla kasutusel samasugune süsteem jäätmete kogumiseks. Omalt poolt pakub juhendmaterjali Maailma Terviseorganisatsioon (WHO), millest lähtuvad paljud riigid. Soovituimaks variandiks on värvikoodide kasutamine, mis muudab jäätmete sorteerimise personalile kergemaks. Lisaks värvidele kasutatakse ka ohumärgiseid ning kirjasid. Nende kasutamisel näeb inimene juba kaugelt, mis jäätmetega on tegu ning oskab ette näha, millised riskid nendega kaasnevad. Samuti tagab see eri liiki jäätmete eralduse transpordil, ladustamisel ja töötlemisel. Lisaks on hea panna konteinerite juurde plakatid, mis näitavad, millisesse konteinerisse vastav jääde kuulub. See tagaks, et personal saab kõik ühtmoodi sortimisest aru ning lihtsustaks antud protsessi. [24], [30]

Jäätmeid sisaldavad pakendid tuleb märgistada, et oleks teada jäätmete tüüp ning päritolukoht. Juhul kui tekib mõni probleem, siis on võimalik identifitseerida tekkekoht. Samuti saab selle abil koostada statistikat eri osakondades tekkivate jäätme koguste ja -liikide kohta. Olenevalt tervishoiuasutuse suurusest tuleks pakendile märkida näiteks osakond, jäätmeliik ja täitumise kuupäev. Konteinerid tuleb paigutada asutustes läbimõeldult, et kohas, kus tekib näiteks potentsiaalselt nakkusohtlikuid jäätmeid rohkem, oleks ka kogusele vastavalt nakkusohtlike jäätmete konteinerid. Vastasel juhul võivad nakkusohtlikud jäätmed jõuda hoopis tavajäätmete hulka või tekib ületäituvus, mis toob endaga kaasa riske. [24], [28], [30]

Tavakonteinerid võivad olla erinevates suurustes ning valmistatud erinevatest materjalidest (plast, metall). Kuna konteinerid üldiselt pestakse ja tühjendatakse mehaaniliselt ning kasutatakse automaatsetes süsteemides, siis peavad nad olema valmistatud vastupidavatest materjalidest. Neil peavad olema ka hästi sobivad kaaned, mis võivad vastavalt kogutavale jäätmeliigile spetsiaalset vär-

vi olla. [24]

Mahutitel teravate ja torkivate jäätmete kogumiseks peab olema sobiva suurusega avaus, et jäätmeid oleks kerge sisestada. Mahuti ümberminemisel sisu väljalalgumise takistamiseks peab olema hermeetiline sulgursüsteem. Materjal peab olema kvaliteetne ning vastupidav survele, kukkumisele ja keemilistele desinfektsioonivahenditele. Anumad võivad olla ühekordsed või korduvkasutatavad. Kuna ühekordsed anumad võivad minna koos jäätmetega põletusse, siis peab keemiline koostis olema vastav, et tuhastamisel ei tekiks kahjulikke aineid. [23], [24]

Jäätmekotte, mis sisaldavad teravaid ja torkivaid jäätmeid, ei tohi ladustada otse põrandale, seega tuleb kasutada konteinerid. Pärast konteinerite tühjendamist tuleb need puhastada ja desinfitseerida. [23]

2.5.1. Ladustamine

Igas osakonnas või korrusel (olenevalt asutuse suurusest) on soovituslik omada jäätmeruumi, kuhu jõuavad jäätmed esialgsetest tekkekohtadest või esmastest kogumiskohtadest. Sealt liiguvad nad edasi suurematesse jäätmekogumisruumidesse, kus seisavad konteinerid kuni töötlemiseni või transportimiseni. Laoruumides ehk jäätmekogumisruumides peavad olema tagatud korralikud hügieenitingimused, tagada tuleb hea ventilatsioon, seinad, põrandad ja lagi peavad olema kergesti puhastatavad (siledad, ühtlased, ilma liitekohtadeta), varustatud veevõtukohaga, et personal saaks käsi pesta ning kogu ala oleks võimalik puhastada. Puhastamine peab toimuma regulaarselt graafiku alusel arvesse võttes tekkivaid koguseid. Vajadusel ka tihemini. Samuti on vajalik tagada juurdepääs jäätmeveo masinatele. Võimaluse korral tuleks juba planeerimisjärgus projekteerida sobivad ruumid jäätmete ladustamiseks, et ruumide suurus vastaks tekkivate jäätmete mahule ning ruumid ei täituks liiga kiiresti. Maailma Terviseorganisatsiooni (WHO) soovitusel ei tohiks ohtlike jäätmete hoiustusajad ületada mõõdukas kliimas talvel 72 tundi ja suvel 48 tundi ning soojemas kliimas 48 tundi külmemal ajal ja 24 tundi kuumal ajal. Temperatuuridel 3-8°C võib jäätmeid hoiustada nädalaks. Patoloogilised jäätmed tuleks hoida külmikus, et vältida lagugaaside teket. [23], [24], [30]

Jäätmeid transporditakse jäätmeruumide vahel kindlate transportkärudega, mida ei tohiks muuks otstarbeks kasutada. Transpordi ajal peab olema võimalik jäätmeid neile kinnitada, et ei tekiks olukorda, kus jäätmed kukuvad transportkärult maha. Samuti ei tohiks need seista järelevveta koridori-

des, kus kõrvalised isikud võiksid nendega kokku puutuda. Võimaluse korral tuleks kasutada ka lifte või treppe (käruga ei saa trepist alla), kus kokkupuude patsientide ja puhaste aladega on väikseim. Jäätmete kogumise puhul tuleks jälgida põhimõtet, et jäätmed liiguksid puhastelt aladelt mustemate poole ehk teekond oleks läbimõeldud ning ei tekitaks ebavajalikke riske. Transportkärusid tuleb regulaarselt desinfitseerida. Samuti ei tohiks konteinereid täita täies mahus, vaid ¾ mahust. Lisaks peaksid ohtlike jäätmete konteinerite ja tavajäätmete konteinerite puhastusajad olema erinevad, et transpordi käigus ei toimuks segunemist või bakterite edasikandumist. [24], [30]

□ 2.5.2. Jäätmete kogumine

Antud töö raames külastatud Eesti haiglates toimub jäätmete kogumine sarnaselt WHO soovitusetele. Kasutatakse värvikoode ning ohumärgiseid ja kirjasid. Igal haigla korrusel ning suuremates haiglates ka eri osakondades on olemas jäätmeruumid, kus toimub esmane kogumine. Sealt transporditakse jäätmed edasi suurtesse jäätmeruumidesse, mis külastatud suuremate haiglate puhul asuvad 0-korrusel, millele on juurdepääs vaid personalil. Nendele jäätmeruumidele on juba ligipääs transpordivahenditel, millega jäätmed suunatakse edasi käitlusesse. [32], [33], [34], [35]

Erinevate jäätmete kogumine on kirjeldatud alljärgnevalt:

- Tervishoiuasutuses tekkivad ohutud jäätmed – kõik jäätmed, mis ei kujuta endast ohtu tervisele ja keskkonnale. Võib jagada taaskasutatavateks jäätmeteks, kompostitavateks ja olmeks. Taaskasutatavad jäätmed jagunevad omakorda veel plastipakenditeks, metallpakenditeks, paber ja papp, klaas, kile ning muudeks pakenditeks. Samuti tekib veel suurjäätmeid kasutatud mööbli näol ning muid jäätmeliike. Vastavalt erinevatele jäätmeliikidele tuleb nende kogumiseks kasutada erinevaid konteinereid. [24], [28]
- **Ohtlikud jäätmed:**
 - Nakkusohtlikud jäätmed – laboritest tulevad proovid, nakatunud patsientide jäätmed. Tuleb kõik koguda eraldi ning võimalikult kiiresti ja tekkekoha lähedal desinfitseerida. Kogutakse eraldi kotti ning konteinerisse ja märgistatakse vastavalt. [24]
 - Anatoomilised jäätmed – eri religioonides tuleb anatoomiliste jäätmetega käituda vastavalt. Osades religioonides tähendab see kehaosade matmist. Eestis kogutakse neid nagu nakkusohtlike jäätmeid – eraldi nakkusohtlike jäätmete kotti (kollase värvusega) ning

vastavasse konteinerisse. [24]

- Teravad ja torkivad jäätmed – spetsiaalsesse konteinerisse, mis on torkekindel ning ei purune nii kergesti. [24]
- Ravimijäätmed – vedelad ja tahked eraldi. Kogutakse konteinerisse, mis läheb koos ravimitega põletusse ning korduskasutatava konteineri puhul steriliseerimisse. [24]
- Kemikaalijäätmed – kogutakse vastavalt liigile eraldi. Patareid, elavhõbedajäätmed, tsütoostaatilised jäätmed, reagentid ning muud keemilised jäätmed. [24]

□ 2.6. Jäätmetekke

Jäätmeteket tervishoiuasutustes mõjutavad järgnevad tegurid: patsientide arv – kui palju voodikohati on kasutuses ning kui pika ajaperioodi jooksul, personali arv, erinevate osakondade olemasolu, asukoht (maakoht, linn), jäätmehooldust puudutavad seadused ja regulatsioonid, riigi arengutase, taaskasutuse ja sortimise määr, jäätmetekke vähendamiseks tehtavad tegevused jne. Madala arengutasemega riikides võivad erinevused olla kättesaadavates ressursides, ühekordsete vahendite korduvkasutuses ja jäätmekäitluse tasemes. Linna ja maakohtade puhul võib erineda personali arv, pakutatavate teenuste number ning ressursside kättesaadavus. [28]

Et kavandada töötavat jäätmete kogumise süsteemi tuleb eelnevalt teha audit jäätmetekke kohta. Samuti saab saadud andmeid võrrelda teiste sarnaste asutuste ning eri riikide seisuga. Ideaalis mõõdetakse jäätmete teket päevade lõikes, et anda ülevaade jäätmetekke erisusest nädala sees ning nädalavahetustel. Tulemused antakse tihti kilogrammides päeva või aasta kohta. Et võrrelda eri suuruses asutusi, siis esitatakse tulemused kilogrammides kasutuses oleva voodikoha või patsiendi kohta. [28]

Eestis tuleb kõikidel jäätmeluba või keskkonnanõuandjate luba omavatel isikutel esitada iga aasta alguses jäätmearuanne eelneva kalendriaasta jäätmealase tegevuse kohta. Arvestust tuleb pidada tegevusest tekkinud, kogutud, vaheladustatud, veetud, töödeldud, kõrvaldatud või taaskasutatud jäätmete liigi, omaduste, hulga ja tekke kohta. Samuti tuleb pidada arvestust jäätmete sihtkoha, kogumissageduse, veomooduse ning kõrvaldamis- ja taaskasutamistoimingute kohta, kui jäätmed antakse üle teisele jäätmekäitlejale. [36]

□ Kokkuvõte

Tervishoiuasutuses jäätmekäitluse toimimiseks

on vajalik kõiki töötajaid eelnevalt juhendada, seda aitab teha korraliku juhendi olemasolu. Antud lõputöö raames on kokku pandud materjal Eesti riikliku juhendmaterjali koostamiseks tervishoiul tekkivate jäätmete käitluseks. Antud materjal on leitav lõputöö lisast, kuna juhend on koostatud ühiselt koos Katrin Venega, sisaldades andmeid ja löike nii antud lõputööst kui ka tema omast.

Töö sisulise osa moodustab seletuskiri juhendmaterjalile. Selles on välja toodud olulisemad õigusaktid, mis reguleerivad tervishoiul tekkivate jäätmete käitlust nii Eestis kui ka Euroopa Liidus. Iga õigusakti juures on kirjas olulisemad punktid, millele tuleb tähelepanu pöörata. Enamuse tervishoiuasutustes tekkivatest jäätmetest moodustavad tavalised olmejäätmed, kuid tähtsa osa moodustavad ohtlikud jäätmed, mis jagunevad mitmeks eri liigiks, milleks on teravad ja torkivad, potentsiaalselt nakkusohtlikud, anatoomilised, keemilised, tsütostaatilised, radioaktiivsed ning ravimijäätmed. Need ohtlikud jäätmed vajavad erikäitlust ning kõik jäätmeliigid tuleb eraldi koguda. Jäätmete käitlemine jaguneb kolme etappi, milleks on sortimine, kogumine ja töötlemine. Iga etapp tuleb korraldada läbimõeldult, et jäätmete käsitsemine oleks viidud miinimumini.

Tervishoiujäätmete ohutu käitlemine peab hõlmama endas kõiki tegevusi alates jäätmete tekkimisest kuni nende lõpliku kõrvaldamise või töötlemiseni. Oluline on sortida jäätmeid võimalikult lähedal tekkekohale, et vältida hilisemat uuesti sortimist. Iga jäätmeliik peab jõudma ettenähtud pakendisse, mis on valitud vastavalt jäätmeliigile ning on märgistatud nõuetekohaselt. Kokkupuude jäätmetega tuleb viia miinimumini ning asutuste jäätmeruumid peavad olema piiratud ligipääsuga. Läbivalt on töös toodud näiteid Eesti tervishoiuasutuste kohta, milleks saadi informatsiooni haiglaid külastades ning sealsete jäätmekäitlust korraldavate inimestega suheldes. Enamikes külastatud haiglates oli sarnaselt Maailma Terviseorganisatsiooni poolt koostatud juhendmaterjalides välja toodud soovitudele kasutusel olevad värvikoodid, ohumärgised ja kirjad. Väga kõrgel tasemel on jäätmekäitlust korraldatud Tartu Ülikooli Kliinikumis, mis on suuresti eeskujuks ka teistele Eesti tervishoiuasutustele.

Lõputöö käigus kogutud materjal ja sellest lähtuvalt koostatud juhendmaterjal aitab seada üldised raamnõuded Eesti tervishoiuasutustes tekkivate jäätmete käitlemiseks. Kui eelnevalt toimisid tervishoiuasutused kõik enda loodud eeskirjade järgi, mis alati ei pruugi olla kõige efektiivsemad, siis koostatud juhendmaterjali eeskujuks võttes saab süsteeme ühtlustada ning tõhustada jäätmete käitlust. Samuti töötab tervishoiuasutuste perso-

nal sageli mitmes eri asutuses samaaegselt, seega lihtsustab ühine juhendmaterjal sortimist ning ei tekita segadust.

Lõputöö raames kogutud andmed ja materjal antakse Eesti Jäätmekäitlejate Liidule, mis töötab edasi selle nimel, et juhendmaterjal kinnitataks riiklikul tasandil ning jõuaks kasutusse. Selleks on vaja juhend kooskõlastada ministriumitega ning teha vastavad parandused.

Summary

The following thesis Healthcare Waste Management in Estonia aims to renew the former guideline which was written in 2001. Namely, 17 years have passed, therefore it is crucial to renew it since the requirements have evolved and new methods are available.

The aim of this study is to gather material for the new guideline. In the theoretical part, the legislative aspects from Estonian and European laws are presented, an overview of the types of waste generated in medical institutions is provided, and guidelines on how to treat waste properly are given. In addition, different waste treatment processes are introduced. Subsequently, possible risks and their prevention methods are elaborated on. According to the statistics from 2016, there were 1405 institutions offering medical services in Estonia, all of which generate waste, of which about 15% is classified as hazardous waste and needs special management.

In order to gather all the required information and get an overview of the current situation, 4 Estonian hospitals were visited: North Estonia Medical Centre, Pärnu Hospital, Tartu University Hospital and Järvmaa Hospital. The other main sources for the thesis are guidelines by World Health Organisation and Estonian and European laws.

The safe treatment of healthcare waste has to include all the activities from generating the waste to disposal or treatment. It is important to sort all the waste on the place of generation so that there would not be any additional sorting later which can cause extra risks. Every type of waste has to reach the prescribed packaging and/or container which has been selected according to the type of waste and be labelled properly. The handling of waste has to be minimized.

For the collection system to function properly, homogeneous colour coding and labelling is advised to be used in all of the institutions to ensure that the personnel would understand waste sorting the same way and nothing would be mixed up during transportation. Special rooms are needed in various departments for storing and transporting

waste. Those rooms need to be closed for public. The results of the thesis will be used by the Estonian Waste Management Association who will carry on the work, so that the guidance material would be approved at the national level and implemented. Therefore, the material needs to be coordinated with the ministries.

▣ Viidatud allikad

- [1] EUR-Lex, "Euroopa Parlamendi ja Komisjoni määrus (EL) nr 1357/2014," 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1357&from=ET>. [Kasutatud 12. märts, 2018].
- [2] Riigi Teataja, "Jäätmeseadus," 2004. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/104072017043?leiaKehtiv>. [Kasutatud 07. jaanuar, 2018].
- [23] J. Boudot, M. Commeinhes, Tervishoiuasutuste jäätmed. Copenhagen: Maailma Tervishoiuorganisatsioon, 1997.
- [24] Y. Chartier et al., "Safe management of wastes from health-care activities," 2014. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.searo.who.int/srilanka/documents/safe_management_of_wastes_from_healthcare_activities.pdf?ua=1. [Kasutatud 10. veebruar, 2018].
- [25] J. Adams, J. Bartram, and Y. Chartier, "Essential environmental health standards in health care," 2008. [Võrgumaterjal]. Available: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43767/1/9789241547239_eng.pdf?ua=1. [Kasutatud 25. veebruar, 2018].
- [27] Tervise Arengu Instituut, "Tervishoiuasutused 2007-2016," 2017. [Võrgumaterjal]. Available: https://intra.tai.ee//images/prints/documents/151376136626_Tervishoiuasutus_2007_2016-.pdf. [Kasutatud 22. veebruar, 2018].
- [28] United Nations Environment Programme, "Compendium of Technologies for Treatment/ Destruction of Healthcare Waste," 2012. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.healthcarewaste.org/fileadmin/user_upload/resources/Compendium_Technologies_for_Treatment_Destruction_of_Healthcare_Waste_2012.pdf. [Kasutatud 23. veebruar, 2018].
- [29] Riigi Teataja, "Ohtlike veoste autoveo eeskiri," 2002. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/12883617?leiaKehtiv>. [Kasutatud 03. mai, 2018].
- [30] World Health Organisation, "Safe management of wastes from health-care activities: a summary," 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/259491/1/WHO-FWC-WSH-17.05-eng.pdf?ua=1>. [Kasutatud 25. veebruar, 2018].
- [31] P. Eek, Tervishoiujäätmete käitlemine [Intervjuu]. 27. märts, 2018.
- [32] L. Puntso, Põhja-Eesti Regionaalhaigla külastus [Intervjuu]. 15. november, 2017.
- [33] L. Miil, Pärnu Haigla külastus [Intervjuu]. 20. detsember, 2017.
- [34] T. Arujõe and T. Teder, Tartu Ülikooli Kliinikumi külastus [Intervjuu]. 06. veebruar, 2018.
- [35] T. Tippi, M. Raidvere, and T. Aule, Järvamaa Haigla külastus [Intervjuu]. 27. veebruar, 2018.
- [36] Keskkonnaministeerium, "Jäätmearuandluse juhendmaterjal," 2006. [Võrgumaterjal]. Available: https://jats.keskkonnainfo.ee/failid/2006_aruandluse_juhendmaterjal.pdf. [Kasutatud 12. märts, 2018].

□ Paevälja mälestusteaed

Autor: Sten Vendik

Juhendajad: Tallinna Tehnikakõrgkooli arhitektuuriinstituudi lektorid **Tomomi Hayashi, Kaur Talpsep, Elo Kiivet**

□ Sissejuhatus

Eestlaste surmakultuur on läbi ajaloo muutunud. Vanade eestlaste uskumusi, kus hinge sümboliteks ja uueks eluasemeks peeti loodusobjekte, muutis ristiusk, mis tõi kaasa hoopis teistsuguse religioosse käsitluse. Industriaalühiskond muutis surmakäsitluse tabuks. Meedia vahendusel on surm kogu aeg kohal, kuid ometi on see inimeste teadvusest tõrjutud. Meditsiin võimaldab tänapäeval lükata surma järjest kaugemale. [1, p 149] Ka läbi isikliku kogemuse ja tuttavate tunnen, et surmal ei ole kohta kaasaegse inimese jaoks. Kõikide muutuste tulemusena kujuneb ka meie kalmistukultuur ja traditsioonid teistsugusemaks või unnevad üldse olemast.

Nii nagu paljudes teistes linnades on ka Tallinn olukorras, kus olemasolevad kalmistud hakkavad täis saama. Pärast krematatsiooni kasutuselevõttu on hakanud muutuma ka kalmistute väljanägemine. Tuhastamine on muutumas levinumaks kirstumatuse ees ja nii kerkib esile vajadus kolumbaariumite ning uute matmispaikade järele. [2]

Tunnetades ühiskonna surma tõrjuvat hoiakut ja vajadust uute matmispaikade järele tekkis idee luua urnimatmispaik, mis oma kontseptsioonilt ja väljanägemiselt erineb olemasolevatest lahendustest. Uue käsitlusena on mälestusteaed teistmoodi matmispaik, mis keskendub kolumbaariumrajatistele. Senistest eraldiseisvana toob mälestusteaed kalmistud linna südame poole tagasi.

□ Surma tõrjuv ühiskond

Tundsin isiklikust kogemusest ning läbi oma tutvusringkonna, et surm on inimeste jaoks hirmutav ning surmatemaatikast rääkimine tabu. Uurides põhjusi, miks surmakäsitlus on tänapäeva inimeste jaoks niivõrd kaugel, selgus mitmeid asjaolusid. Meditsiini kiire areng, maailmasõdade hävitav mõju, ateistlik maailmakäsitlus Nõukogude Liidus, kiirenev elutempo ja teised tegurid on vaid osa põhjustest, miks surm on paljude eestlaste jaoks tõrjutud teadvusest. 1977. aastal tõdes Aries, et

industriaalühiskonnas pole surmal kohta, sest teema on inimestele tabu. 21. sajandil meedias on surm pidevalt kohal, kuid see mõjub virtuaalselt. Inimeste vahetud isiklikud kontaktid surmaga on jäänud tahaplaanile ja nii mõjub see ootamatult ja valusamalt võrreldes meie esivanematega, kes polnud minetanud arusaamist surmast kui elu osast. [1, p 149, 153]

Muutused ühiskonnas mõjutavad ka matsekultuuri, mis oma olemuselt on konservatiivne. Krematsiooni kasutuselevõtuga on loodud uusi matmispaiku, kolumbaariummüüre ja tuhapuis-tealasi, mis erinevad senistest kirstumatusepaikadest.

Muutused ühiskonnas – elamistingimustes ja perekonnastruktuuris muudavad kalmistute väljanägemist. Ka rahva suhtumine kirikusse ja religiooni on muutunud ning järjest enam korraldavad matseid inimeste eest vastavad asutused. Uus aeg toob endaga kaasa kalmistute planeerimise linnadest järjest kaugemale. 21. sajandi kiire elutempo ja ühiskonna eirav suhtumine surmatemaatikasse mõjutab ka matsekombestikku ning muudab kalmistute väljanägemist. [2]

Eeskätt linnades ollakse olukorras, kus vanad kombid hääbuvad ja uusi rituaale emotsionaalselt keerukate olukordadega tegelemiseks pole veel välja kujunenud. Matsekombestik on ajas siiski pigem vähe muutunud ning see tekitab olukorra, kus tänaastel noortel, kel isiklik suhe matustega on harv või puudub, tundub kaugel ja võõras. [1, p 153]

Märgates ja tundes selliseid hoiakuid ühiskonnas, tekkis soov kõnetada ja muuta inimeste arusaamu. Surm, kuuludes ühe olulise etapi hulka me elus, ei tohiks olla vähem tähtis, kui teised elusündmused. Suhtumine surma väljendub ka meie kalmistutel. Soovisin luua vabamat ja looduslähedasemat kalmistukäsitlust, mis kaasaks inimesi rohkem tegelema surma ja matustega ning mis aitaks neil emotsionaalsete olukordadega paremini toime tulla. Pakutud lahendus mõtestab linnas hääbuvaid matsekombeid ühiskonna muutustest tulenevalt ümber ja annaks võimaluse uute tekkeks.

Uus kalmistukäsitlus

Tallinna linnas on kasutusel 7 kalmistut, millest enamik on täismaetud ehk leiduvad mõned üksikud vabad kohad. Liiva kalmistu on ainuke matmiseks avatud [3]. Uurides selgus, et puudus on kalmistutel just tuhaurnimüüridest ja kolumbaariumitest.

Mälestusteaed tahab muuta tänapäeva ühiskonna tõrjutud käsitlust surmast ja toob surnud elavate keskele tagasi ja annab sõnumi, et surma ei pea kartma, vaid see on osa eluringist kui paratamatu elu osa.

Ala paikneb olemasolevatest kalmistutest eemal, olles oma olemuselt vabam kui senised Tallinna kalmistud. Rõhutades eluringlust annaks uus paik täiendust olemasolevasse matusekultuuri, kõnetaks inimesi ning muudaks arusaami surmast ja

annaks võimaluse uute kommete tekkeks.

Avaliku ruumina on mälestuspark, lisaks koht surnu austamiseks, ka elavatele, kes otsivad rahu ja meditatiivset paika. Lasnamäel on puudust pargialadest ning projekt pakuks kohalikele elanikele head avalikku ruumi ja seda teistsuguses kontekstis, kui tavaliste haljasalade puhul. See annaks võimaluse hetkedeks iseendale ning paneks meid ja meie lähedasi rohkem väärtustama.

Olles inspireeritud esivanemate uskumustest, et lahkunute hinged elavad edasi loodusobjektidena, on kolumbaariumrajatistes kasutatud esivanemate tõekspidamisi ja maailmakäsitlust. [1, p 148] Pakkudes sellega välja visiooni, milline võiks olla meie matusekäsitlus tulevikus ja milline meie rahva suhtumine surma. Vastuseid minevikust otsides on meie esivanematelt palju, millest õppida.



Pilt.1. Asukoha skeem. Autori joonis



Pilt.2.3. Olemasolev olukord. Autori fotod
Karjääri vahetus läheduses asuvad Maarjamäe ja kommunismiohvrite memoriaal.

Ala ise ei saa lõplikku käsitlust, vaid omapoolse lahenduse andsin osale sellest. Olemasolev tühermaa toimib pargialana hästi ja nii annan ma võimaluse mälestuspargi kujunemiseks aastakümnete pärast. Kombed ja uskumused muutuvad ajas ja nii muudavad vorme ka matmispaigad.

□ Vana paemurd

Paevälja vana karjäär asub Lasnamäe loodeosas Paevälja asumis. Linna ehitamiseks on sealt pae- kivi murtud juba väga pikka aega. Nüüdseks on 23 ha suurune tühermaa aastaid seisnud kasutuseta ning sinna on kujunenud põnev kidurtaimestik ja metsasalud. Osa karjäärist on niiskem ning seal paikneb nii alalisi kui ka ajutisi veelompe, mille sees ja kallastel kasvab palju vee- ja niiskuslem- beseid taimi. Enamik karjäärist on täidetud erinevate ehitusjäätmetega nagu pinnasehunnikute, ehitus- ja lammutusprahiga.

Tähelepanuväärne on Paevälja vana karjääri pae- eastang, mis ringikujuliselt ala ümbritseb ja loob justkui toetava müüri. Astang on valdavalt 3-5 meetri kõrgune, mõnes kohas joonistub see selgelt välja, valdavalt on astang lagunenuid ning kattunud

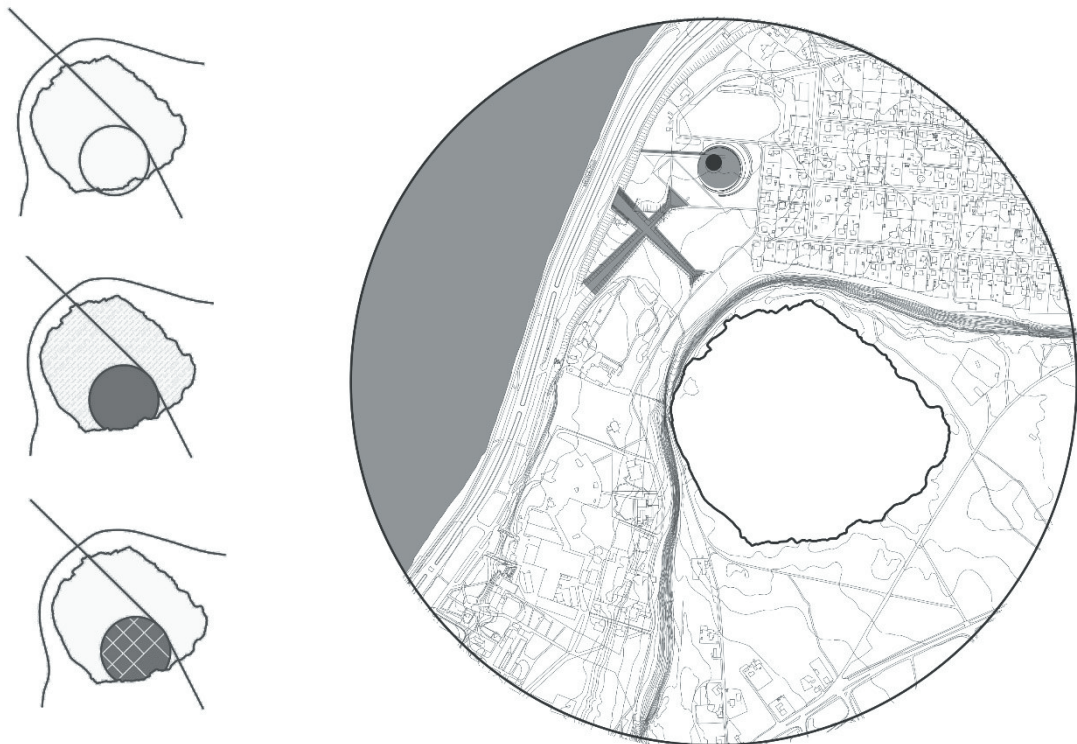
maapinna ja taimestikuga. Ringikujuline põhiplaan mõjub spirituaalselt ning sobib meditatiivseks pel- gupaigaks.

□ Mälestusteaed

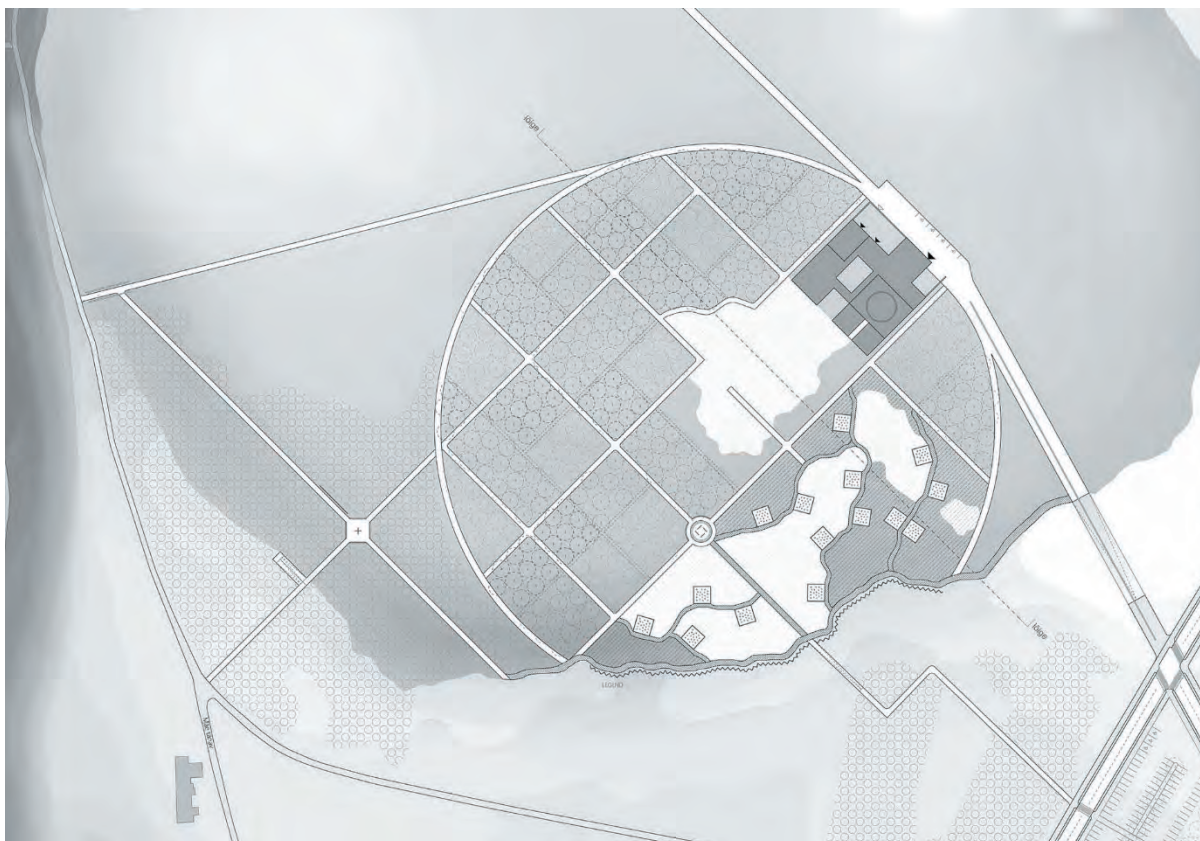
Ala jaotus kahte etappi. Esimeses etapis pakkusin lahenduse vaid osale ning nii on see suunaks tei- sele etapile ja annab võimaluse matmispaigal kas- vada tulevikus.

Väljapakutud lahenduses on peetud oluliseks kahte elementi ehk teekonda: Maarjamäe memoriaal- list tulenevat telgjoont ja ringi, mis on otseseks sümboliks rõhutamaks eluringlust. Kuna projektis on peetud oluliseks kasutada olemasolevaid loo- dusvorme, lõikab paeastang ringikujulist teekonda sümboliseerides surma olemust kui paratamatut. Ringikujuline ala on jaotatud väiksemateks ala- deks ruudustiku abil, luues nii loogilised liikumi- sed ja sihid. Ruut kui väga stabiilne kujund süm- boliseerib lahkunud hingede rahu.

Kasutades olemasolevaid loodusvorme, on lahen- duses säilitatud alal paiknevaid alalisi lompe ja soist ala. Puidust laudisteed looklevad läbi vesise ala ja ühendavad erinevaid mälestusteaia osasid omavahel.



Pilt 4. Asendiplaanalised skeemid. Autori joonis



Pilt 5. Asendiplaan. Autori joonis

Kokkuvõttes moodustub maastikuliselt huvitav ja seotud pargiala. Korrapäraseid kujundid on põimitud looduslikult vabamate joontega pakkudes nii võimalusi teekondadeks, mis annavad tuge külastajatele ning aitavad mõista surma olemust. Memoriaalist tulenev telg on teekond sealse lõppeva loodusliku vaateplatvormiga mälestusmärkidele ja mõjub kui osaline lahendus memoriaali lõpetamata kujule.

Värvavad on kalmistutel kui portaalid hingede maailma, mis eraldavad elavate ja surnute maailmu. Lahenduses pakutavaid värvavaid on kokku neli. Need sissepääsud alale on lahendatud ruumikogemuse pakkumisele ning on nimetatud ilmakaartest tulenevalt.

□ Kolumbaariumrajatised ja krematoorium

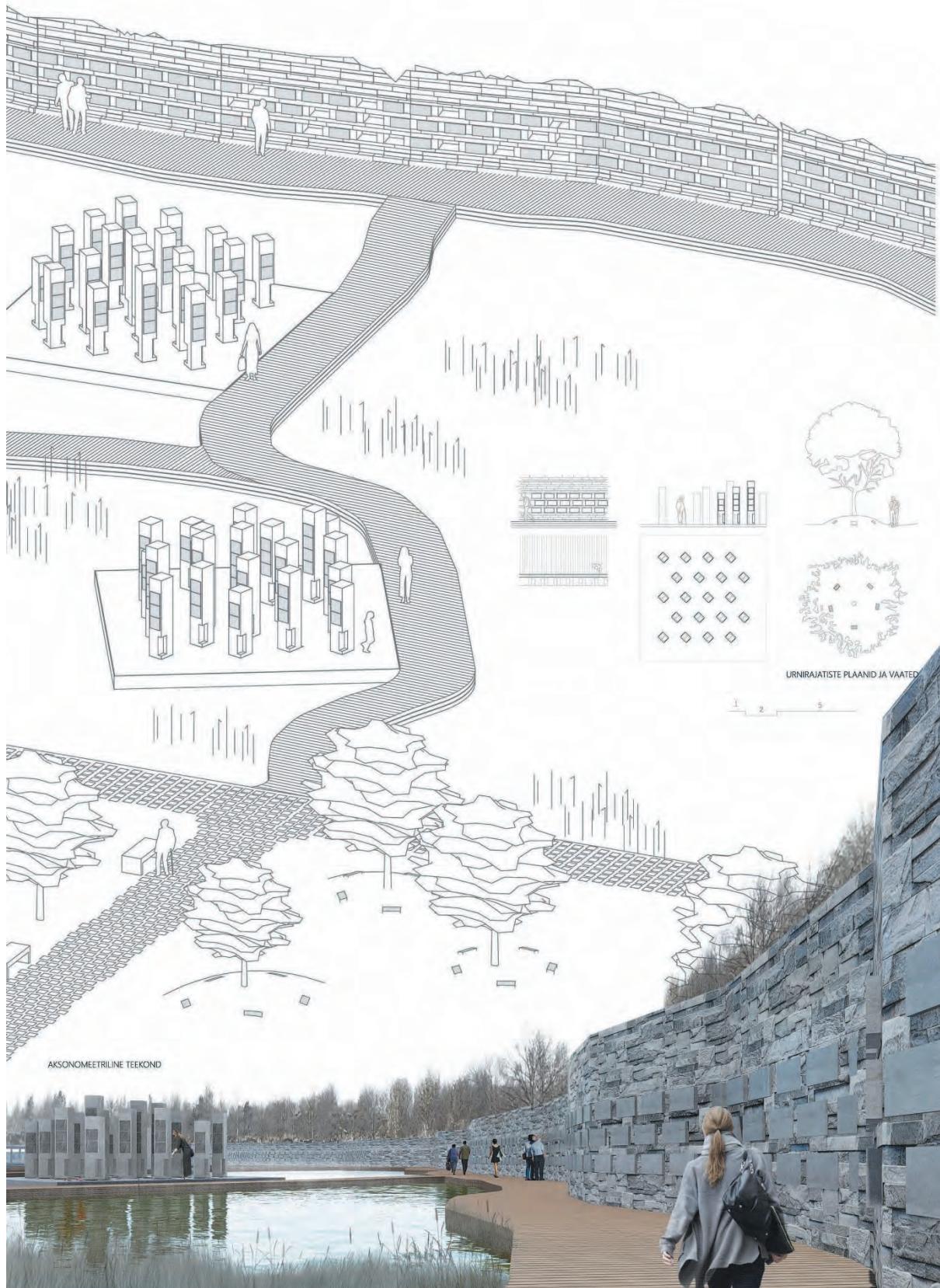
Kolumbaariumrajatised on mälestusteaia ühed olulisemad objektid. Neid on projektis kujutatud kolmes erinevas vormis. Kolumbaariumrajatised kasutavad olemasolevaid looduslikke objekte, kuid loovad ka ise uusi keskkondi. Erinevad tuhaurnirajatised loovad inimestele mitmeid võimalusi kuidas oma lähedaste säilmeid hoida ja mälestada. Projektis lahendatud viisid on inspireeritud esivane-

mate kommetest, kes uskusid, et hinged elavad edasi loodusobjektidena. [1, p 148]

Põhilise ala mälestusteaia võtab enda alla puupark. Ruudustik, mis ringikujulist piirkonda liigendab, moodustab eraldatud alasid, kus igal neist kasvab üks puuliik, mida on kokku kolm: pärn, sanglepp ja mänd. Puuliikide valikut määras olemasolev keskkond, kodumaisus ning puuliikide omavaheline maastikuarhitektuuriline kokkuvõte. Pärn ja mänd on eestlaste jaoks tuntud kui hiiepuud, sanglepp on väga paindlikku juurekavaga ja sobib liigniiskusega aladele.

Puupark loob inimestele võimaluse saada oma perepuu, kus lähedaste säilmed maetakse biolagunevasse urni ümber puude. See sümboliseerib eluringlust, kus lahkunute hinged elavad edasi puudena ja olles senistest matmisviisidest vabam käsitus ning andes võimaluse tunnetada inimeste ja looduse vahelisi suhteid. Puud istutatakse madalatele täitepinnasest moodustatud kääbastele, luues nii lauskleva maastiku.

Soistele laudteega kulgevatele aladele on rajatud „kõrkjad“. Need betoonist postamendid on piklikud kolumbaariumväikevormid, mis asetsevad ruudukujulisel betoonist saartel. Kõrkjad on eri-



Pilt 6. Kolumbaariumrajatiste joonis. Autori joonis

nevate kõrgustega, mahutades nii erineva arvu urne. Väikevormid loovad arhitektuurilist põnevust ja sobituvad olemasoleva loodusega kokku. „Kõrkja“ lahenduses on arvestatud võimalusega süüda-

ta lahkunute auks künnlaid ning nii on igal postil künlasüvend.

Viimase kolumbaariumrajatisena on pae sisse loo-

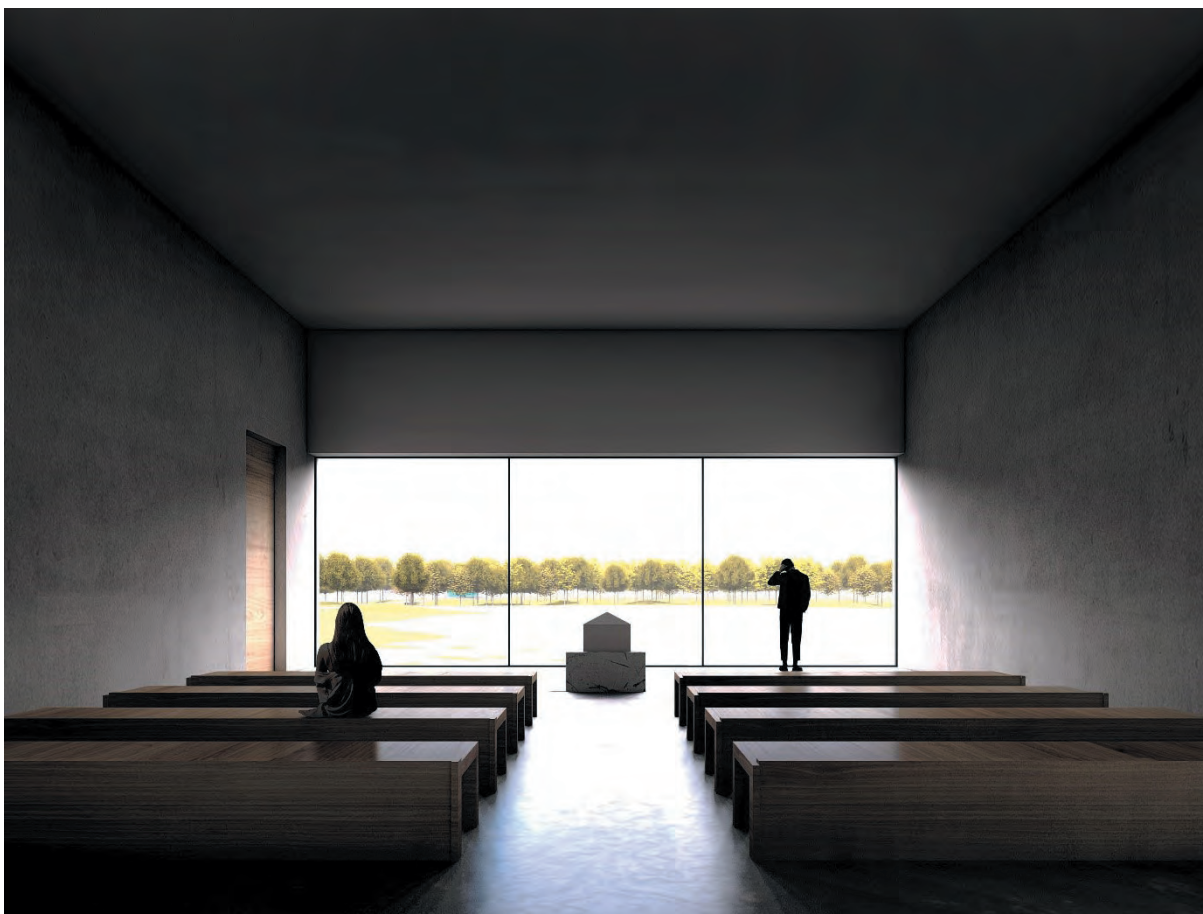


Pilt 7. Krematoorium. Autori joonis

dud urnimüür. Urnikambreid on pae sisse kavandatud kolmel erineval kõrgusel ning neile pääseb ligi mööda paemüüri looklevat laudisteed. Kamber mahutab kuni neli urni ning on kaetud väljast graafilise betoonplaadiga.

Alale on kavandatud krematoorium, olles ainus hoonekompleks. Selle lahendus tuleneb mälestusteaia ala jaotusest ning on põhiplaaniliselt ruudukujuline.

Nii nagu mälestusteaias on tekkonnad erinevate alade vahel, mis pakuvad toetust ja lohutust kü-



Pilt 8. Krematooriumi interjäär. Autori joonis



Pilt 9. Krematooriumi interjäär. Autori joonis

lastajatele, on sama kontseptsiooni kasutatud ka hoones sees. Krematooriumi hoone teekond on kavandatud selliselt, et see aitaks leinajaid raskel hetkel ning pakuks tuge ja selgust, et surm on loomulik osa elust ning vastupidiselt lõpule, on see uue algus.

Kaks sama suurt hüvastijätusaali on kavandatud vaadetega mälestusteaiale. See aitab tseremoonial leinajatel mõista lähedase kaotust ja seda, mis saab neist pärast surma ning millisel viisil elab kadunud hing edasi inimeste mälestustes. Leinajad juhitakse pärast tseremoonia lõppu läbi teise



Pilt 10. Mälestuspargi puukalmed. Autori joonis

väljapääsu ringikujulise põhiplaani saali, kus keskel paiknev veesõlm on viimane puhastus kergendamaks inimeste emotsionaalselt keerukaid tundeid. Ringikujulise plaaniga ruum sümboliseerib eluringlust ning laest tulev hajusvalgus loob hingestatud ja vähesekkuva ruumi.

□ Kokkuvõte

Suhtumine surma on läbi aja muutunud. Tänapäeva inimestel on raskem mõista lähedase kaotust ja tulla toime emotsionaalselt keerukate olukordadega, võrreldes meie esivanematega, kes ei olnud minetanud arusaamu surmast kui elu osast. Tõrjuv suhtumine surma muudab ka matusekultuuri. Inimeste vahetud kontaktid surmaga muutuvad harvemaks ning järjest enam korraldavad matuseid matusebürood. Linnades on vanad traditsioonid ununemas ja uusi kombeid ei ole veel välja kujunenud.

Mälestusteaed soovib muuta inimeste suhtumist. Rõhutades eluringlust ja luues tuge pakkuvaid teekondi, on mälestusteaed koht vaikuseks ja rahuks lahkunud hingedele ning ka küllastajatele. Matmispaik lahendatuna mälestustepargina on vabam käsitlus ning pakub võimalust vanu kombeid ümber mõtestada ja luua uusi.

Arvestades koha olemusega, on loodud tervik uute lahenduste ja olemasolevate looduslike vormide

vahel. Mälestusteaed on meditatiivne pelgupaik, kus seal puhkavad hinged annavad avalikule ruumile teistsuguse kvaliteedi.

Matmispaigad ei peaks olema peidetud ning nii toob mälestusteaed surnud tagasi elavate keskele.

□ Summary

In time, attitudes towards death have been subject to change. People nowadays have a hard time understanding the loss of someone close. They struggle trying to cope with emotionally complicated situations, more easily grasped by our ancestors, as they hadn't yet ceased to view death as a natural part of life. Rejective attitude towards death changes the funeral culture, too. People avoid facing the phenomenon of death in a genuine manner, while more and more funerals are arranged by undertakers. People living in cities are forgetting old traditions and they haven't really got new ones of their own.

The garden of remembrance is an attempt to change people's attitudes. With emphasis put on the always ongoing circle of life, journeys are being created that offer support. The memorial garden is a place of silence and peace for both the souls that have left us and the living ones who have come to visit them.

The garden's approach to a burial space offers a more relaxed reimagining, as well as a chance to reconsider old customs while creating new ones.

Taking into account the genius loci, a whole has been created with a certain kind of balance between novel solutions and the existing natural landscape. The memorial garden is a meditative sanctuary. One might say that the lost ones resting there participate, bringing another kind of quality for the space.

Burial spaces shouldn't be hidden away. So, in a way, the garden brings the deceased back among the living.

▣ Viited

[1] M. Kõivupuu, Eestlase eluring, Tallinn, Varrak, 2015.

[2] M.Külvik, Park on paradiis looduses ja kunstis, Eesti Maaülikool, Tartu, 2009, p 171-175

Kaitseväge maismaasõidukite elutsükli kulumudel

Autor: Mario Evestus

Juhendajad: KVÜÖA rakendusuringute keskuse ülem kolonenleitnant **Raul Järviste**, Tallinna Tehnikakõrgkooli logistikainstituudi lektor **Kati Nõuakas**

Sissejuhatus

Viimasel aastakümnel on kaitseväge teinud suuri muudatusi ning arendanud märkimisväärselt Eesti iseseisvat kaitsevõimet. Selle saavutamisel on suur roll kaitseväge maismaasõidukitel, mis on kaitsevõime logistiliseks alustalaks nii rindel kui ka tagalas. Siiski on enamik kasutuses olevast masinapargist vana ning jätkusuutlikkuse tagamiseks peab juba praegu mõtlema järgnevale aastakümnele. Igas eluvaldkonnas, nii era- kui ka avalikus sektoris püütakse saavutada efektiivsust, kuid Eesti väikeriigi piiratud ressursid seavad oma piirangud kaitseväge maismaasõidukite hankimisele ja kasutamisele. Sellest tulenevalt on uuritavaks probleemiks küsimus, kas kaitseväge maismaasõidukite (edaspidi KVMS) kulude arvestamist saab teha paremini, rakendades selleks efektiivsemat kontseptsiooni.

Elutsükli põhine kulude juhtimine on oma sisult toote või teenuse kõikide kulude arvestamine kogu kasutusaja vältel. Selle juhtimisstiili üheks olulisemaks vahendiks on kulumudel, mis kujutab endast ühe kindla valdkonnaga tegelevate inimeste demokraatliku konsensust, mis määrab ära, milliseid kulusid arvestatakse ning kuidas seda tehakse. Uurimuse eesmärk oli välja töötada näidis-kulumudel, mida saab kasutada järgmise kümne aasta kaitseväge maismaasõidukite hankimisel. Välja pakutud kulumudeli rakendamine looks organisatsioonisisese ühtse meetodika kogukulude arvestamiseks ja tagab parema võimeplaneerimise andmesisendite kvaliteedi.

Metoodika ja uurimustöö protsessid

Toote elutsükli põhine juhtimine on üks strateegiline ärijuhtimise viise, mis keskendub järjepidevalt toote loomele, haldamisele, turustamisele ja kasutamisele toote ideest kuni selle eluea lõpuni, integreerides selleks inimesi, protsesse, ärisüsteeme ja infot [1x7]. Elutsükli kogukulude juhtimiseks ei ole ühtset universaalset mudelit ning iga organisatsioon peab selle enda jaoks ise sobivaks

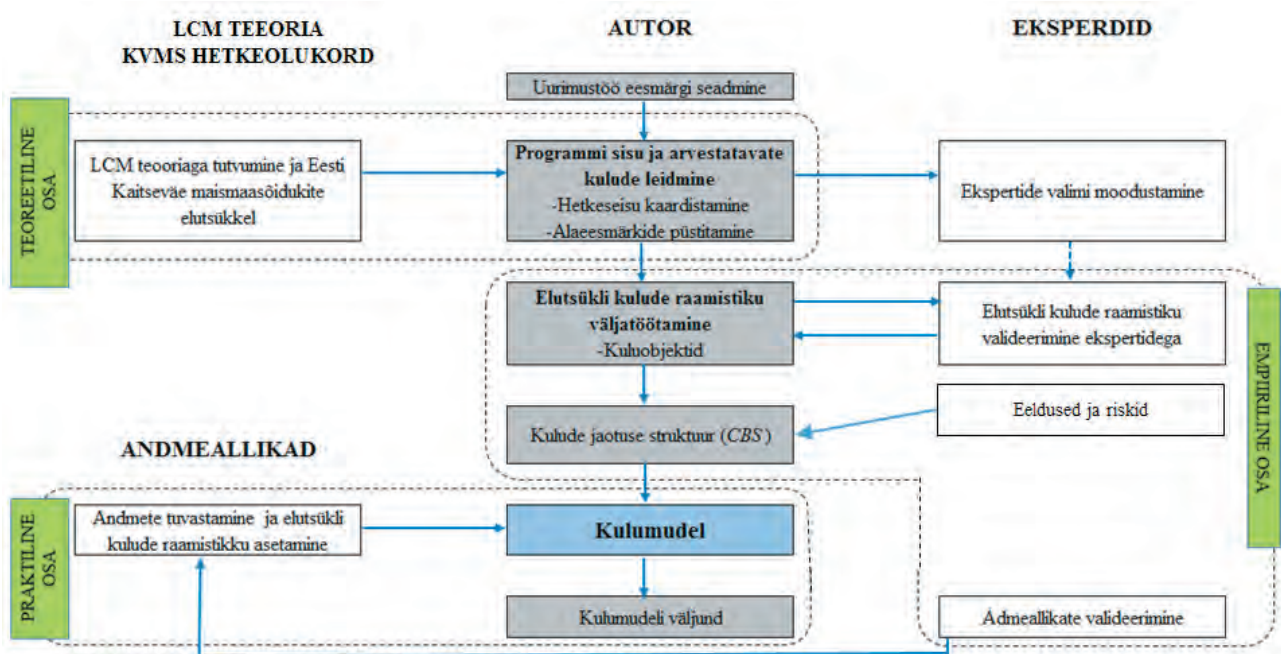
kohandama. Käesoleva uuringu eesmärgi lahendamiseks võeti kulumudeli koostamise aluseks peamiselt NATO poolt välja töötatud meetodikad. Hoolimata mõnest varieerumisest saab sama elutsükli kulude põhimõtet rakendada kõikidel projektidel, olenemata nende spetsifikatsioonidest. See meetod hõlmab endas järgmisi samme:

- 1) uuringu eesmärgi seadmine
- 2) programmi sisu ja oluliste kulude leidmine
- 3) elutsükli kulude raamistiku väljatöötamine
- 4) andmete tuvastamine ja elutsükli kulude asetamine raamistikku

Uuringu eesmärk ja sihid mõjutavad oluliselt selle läbiviimist. Püstitatud küsimused määravad uuringu läbiviimise viisi ning sellega kaasnevad uurimusmeetodid. Seega tuleb eesmärk selgelt ja üheselt määratleda, kui elutsükli kulude uuringust tahetakse saada kasulikke ja sisukaid tulemusi. Programmi sisu ja arvestavate kulude leidmine piiritleb täpselt, milliseid kulusid uuringusse kaasatakse ja kuidas neid tuvastatakse. Uuringu detailsus võib sõltuda ka välistest teguritest, nagu uuringu maksimaalne kestus, selle läbiviimiseks kättesaadavad rahalised vahendid, kvalifitseeritud personali kättesaadavus ning olemasolevate ekspertide valimist, kes suudavad anda sisulist infot. Kui eelnevad kaks sammu on paika pandud, siis kaardistatakse nõuded elutsükli kulude raamistiku ehk määratakse kõik kulu jaotuse struktuuri osad. Kui elutsükli kulude raamistiku struktuur on kindlaks määratud, tuleb kulude jaotuse struktuur täita andmetega, kus kõik kuluelemendid on lahti kirjutatud. Kulude andmete kogumise meetod sõltub andmete kättesaadavusest [2].

Kulumudeli tegemiseks rakendati eelnevalt kajastatud NATO kulumudeli protsesse ning sellele lisati uurimusega seotud osapooled, mis olid aluseks ühtse KVMS kulumudeli raamistiku loomiseks. Visuaalselt on uurimustöö detailsemad protsessid kujutatud joonisel 1.

Nagu jooniselt 2 on näha, tuli esmalt määrata eesmärk, mis tuleneb probleemist leida uudsem ja parem kontseptsioon KVMS kulude arvestamiseks. Sellele järgnes uurimustöö teoreetiline osa, kus



Joonis 1. KVMS elutsükli kulumudeli uurimuse protsessid

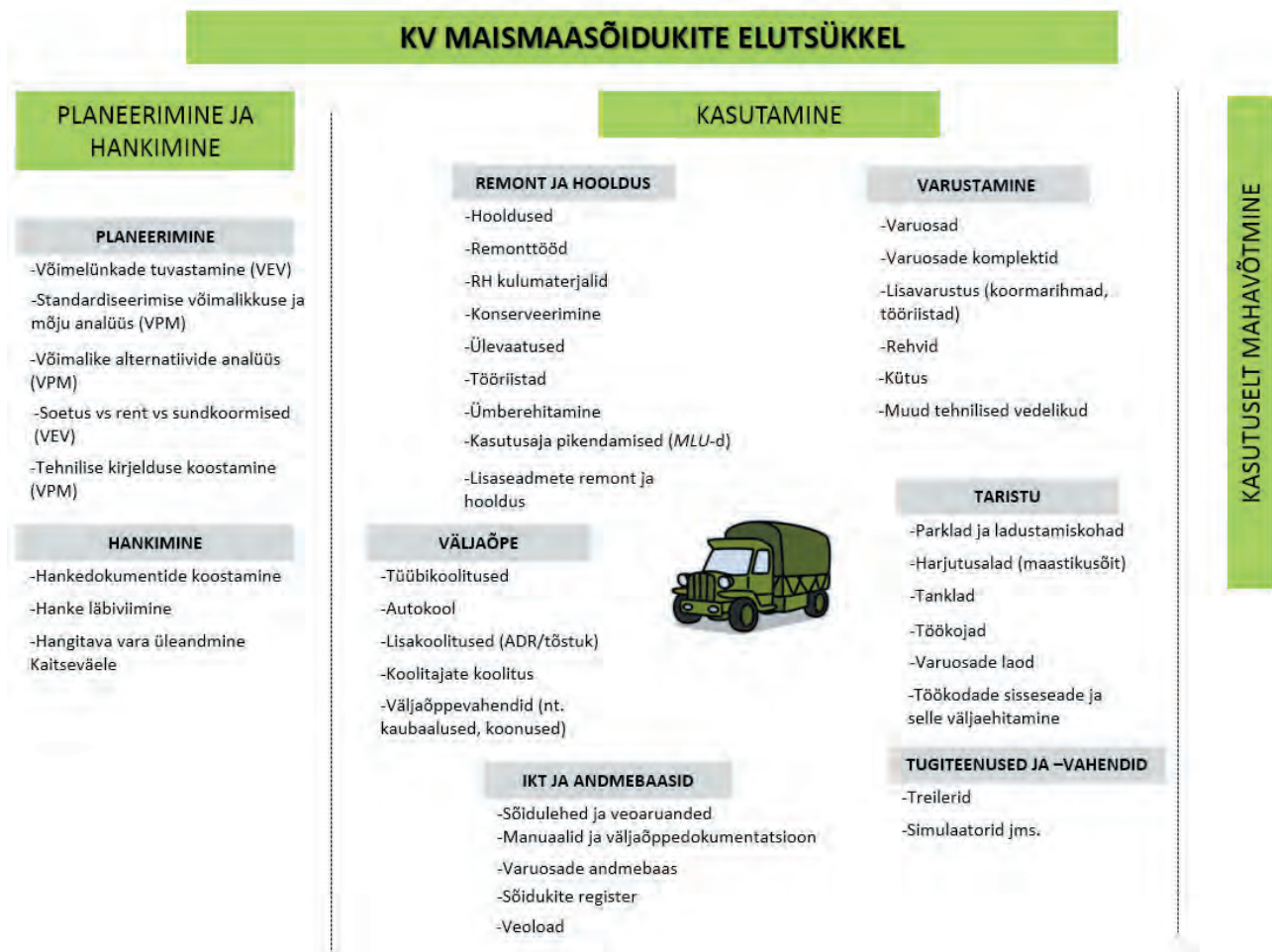
uuriti erinevaid teooriaid, mis käsitlevad elutsükli põhlist juhtimist nii era- kui ka avalikus sektoris. Teoreetilise osa käigus tuvastati, kuidas käib elutsükli kulude arvestamine, mis on selle eesmärgid ning milliseid funktsioone peab tulemus täitma. Järgmisena sai kaardistatud KVMS elutsükli kulude hetkeseis, mille esimeseks etapiks oli elutsükli faaside määramine. Antud uurimustöö kontekstis oli vaja muuta NATO universaalse elutsükli mudeli elutsükli faase ning kohendada need sobivamaks Eesti KVMS elutsükli kulude planeerimisega. Seejärel sai ära kaardistada esmased võimalikud elutsükli faaside kulukohad, mis olid uuringu teostaja hinnangul seotud maismaasõidukitega ning selle aluseks rakendati kulude jaotuse struktuuri (Cost Breakdown Structure, edaspidi CBS) kontseptsiooni. Elutsükli kulumudel on mitmeastmeline arendusprotsess ja CBS on selle üks tähtsamaid osasid. Ilma kulude jaotuse struktuuri kululementide määramiseta on vara elutsükli maksumuste hindamised ja arvutamised ebaefektiivsed ning -täpsed. Seega on iga vara kululementide identifitseerimise protsess väga oluline. Kirjanduse põhjal on sõltumata tööstusest enamik elluviiudud elutsükli kulumudelitest tehtud enam-vähem samade põhivõrrandite alusel. Ainus, mis neid eristab, on kulude jaotuse struktuur [3]. Järgmise sammuna kaardistati KVMS hetkeolukord ning kategoriseeriti omalt poolt pakutud kulukohad kulukategooriateks (joonis 2) ning nende kategooriate valideerimiseks püstitati uurimuse ala-eesmärgid. Nende saavutamiseks koostati küsitluse ankeet, mille alusel sai autor esmase ülevaate ekspertide arvamustest ja hinnangutest.

Täidetud ankeet oli ka aluseks ekspertidega planeeritud struktureeritud intervjuude tegemiseks, mille kaudu valideeriti ekspertide hinnangute ja kogemuste põhjal kulumudeli paikapidavust, muutes seda vastavalt.

Järgmise sammuna tuli moodustada ekspertide valim, kelle kogemustepõhiste hinnangute ja tähelepanekute analüüsi põhjal sai koostada lõpliku CBS-i, mis sai kulumudeli aluseks. Ekspertide valim koostati kaitseministeeriumi valitsemisala ekspertidest. Valimi tegemisel lähtuti kahest aspektist: esiteks peaks ekspertide nimekiri katma erialaspetsiifiliselt kõik kulukategooriad ning teiseks peaks valimis olema esindatud võimalikult palju erinevate struktuuriüksuste tasandite arvamusi ja hinnanguid.

■ Tulemused

Uuringu teoreetilise osa põhjal ning intervjuude käigus selgus, et kulukohtade kaardistamiseks tuli kasutada kahte kululiigi tuvastamise tasandit, millest esimene on kululiigi määratlemine kas otse- või kaudkuluks. Otsekulud (direct costs) on kulud, mida saab otseselt kanda arvestusobjektile või kulukandjale. Kaudkulud (indirect costs) on kulud, millel puudub vahetu seos arvestusobjektiga ja ei ole põhjendatud seetõttu nende otsene (kohene) kandmine objektile. Arvestusobjektile kantakse kaudkulud sageli teatud subjektiivsete jaotusbaaside alusel [4, lk 50]. Käesolevas lõputöös on otse- ja kaudkulude valiku tegemisel arvestatud sellega, kas kulude arvutamisel saab jagada kulumudel



Joonis 2. Esmased KVMS elutsükli faasid, kulukategooriad ja kulukohad

olevad kulud otse sõidukite kogusega või peab selle kulu jagamiseks arvestama ka teiste sõidukitega ning jagama kulud proportsionaalselt. Teine tasand on kulude liigitamine muutuv- või püsikuluks. Muutuvkulud (variable costs) on kulud, mis muutuvad funktsionaalselt tegevuse mahuga. Püsikulud (fixed costs) on kulud, mis jäävad muutumatuks erinevate tegevusmahtude puhul teatud ajaperioodides [4, lk 46]. See konkreetne liigitamine on oluline kulumudeli kogukulu- ja otsustusfunktsiooni eristamiseks, sest otsustamisel kahe analoogse alternatiivse lahenduse vahel ei pea alati välja arutama elutsükli kogukulusid. Näiteks, kui kasutatakse sama taristut mõlema variandi puhul, ei anna taristukulude arvutamine otsustusmodelile midagi juurde. Seega rakendati uurimuses ekspertide seisukohtade registreerimisel ja lõppseisukoha tegemisel nende mõlema kululiigi aspekte, mis kujunesid lõpuks süstemaatiliselt kulumudeli osisteks.

■ Kulukohad

Lõplike kulumudeli kulukohtade leidmiseks rakendati esmalt varem kirjeldatud NATO meetodit, kus kulukoht koosneb kolmest põhielemendist: toode, tegevus ja ressurss. Tooteks on kaitsevæe maismaasõidukid, tegevusteks määrati esmahinnangus kaardistatud kulukategooriad (planeerimine, hankimine, remont ja hooldus jne) ning ressurssideks NATO metoodikas välja toodud personal, varustus, kulumaterjalid, taristu, teenused ja info. Lisaks liigitati kõik ekspertide hinnangute ja arvamuste analüüsi käigus tuvastatud kulukohad kolmepallisüsteemis selliselt, et kas ekspertide hinnangul oli tegu väga olulise, olulise või väheolulise kulukohaga ning kulukohtade lõplikust koondtulemist jäeti välja kõik väheolulised kulukohad. Kombineerides seega NATO kulumudelite metoodikat kulukohtade tuvastamiseks ekspertidega läbi viidud ankeetküsitluste ja intervjuude analüüsi tulemusi ning rakendades kululiikide tuvastamise tasandeid, sai kokku koondada kõik väga olulised ja olulised kulukohad, mida KVMS kulumudel peab sisaldama. Saadud tulemus on välja toodud joonisel 3.

erinevad objektid erinevates asupaikades, siis tuli lisaks sõidukite enda kuluobjektile leida täiendav vahekuluobjekt, milleks said väeüksused. Sedasi sai siduda omavahel erinevad andmed ja moodustada seeläbi ühtne kulumudeli kulukohtade sisend. Andmeallikate seos on näidatud joonisel 6.

Planeerimise ja hankimise faasi kulud ei muutu enam peale otsuse tegemist ning ei ole seega kasutusperioodiga seotud. Kõik kulud on projektipõhised ehk kajastavad kõikide kulumudelisse planeeritud sõidukite ühiskulusid. Kasutamisaasi väljundid on kõige keerulisemad ja vajavad enim omavahelist integreerimist. Omavahel tuleb siduda sõidukid, väeüksused, taristud ja muud kulud. Enamik kulusid saab siduda otse sõiduki või sõidukitega, aga mõnede kulude leidmiseks tuleb need enne siduda vahe-kuluobjektiga, milleks on antud uurimustöös väeüksused ja nendes paiknev taristu. Lõpuks saab siduda sõidukid ja väeüksused omavahel sõidukite registri alusel. Õigete andmete saamiseks peavad kasutusfaasis andma oma panuse paljud erinevad kaitseväge osised ning eduka ja sisuka elutsükli kulude analüüsimiseks peab organisatsioon sellega arvestama. Ekspertide hinnangul on kasutuselt maha võtmise kulud vajalik planeerida eelarvesse, kuid nende prognoosimine vajab kõige pikemat ajakäsitlust ning on seega ebatäpsed. Üks peamine meetod nende andmete prognoosimiseks on võrrelda ajaloolisi mahakandmise kulusid võimalikult sarnase sõidukitüübiga ning tuletada vastavalt valitud mahakandmise viisile oma mudelile sobiv prognoos. Mida rohkem kulumudeleid jõuavad oma elutsükli lõppu, seda rohkem usaldusväärsemaid võrreldavaid andmeid saab kaitseväge.

Tabel 1. Kulumudeli vajalikud väljundid.

Väljund	€/km	€/aastas Kui sõiduk on kasutusel	€/aastas Kui sõiduk on konserveeritud
Analüüsitarv grupp			
Sõidukipõhine kuluarvestus (iga masina kulu eraldi)	Oluline, sõiduki põhine kulu on aluseks ülejäänud kuludele	Oluline peamiselt eelarvestamiseks. Annab sõidukitevahelise võrdluse	Oluline, kuna annab analüüsitarvad andmed konserveerimise kasumlikkusest
Sõiduki tüübi/mudeli põhine kuluarvestus (nt. sõiduki mudel MB U1300L)	Oluline, sest annab sõiduki mudeli põhised kulud kaitseväes	Oluline peamiselt eelarvestamiseks	Oluline, kuna annab analüüsitarvad andmed konserveerimise kasumlikkusest mudelitepõhiselt
Väeüksusepõhine kuluarvestus (nt. jalaväepataljoni sõidukite kulud)	Oluline, et võrrelda väeüksuste kulusid ja läbisõitu sõidukite põhiselt	Oluline, et võrrelda väeüksuste kulusid aastas.	Oluline, kuna annab analüüsitarvad andmed konserveerimise kasumlikkusest väeüksustepõhiselt

■ Kuluallikate sisendid ja väljundid

Peale tuvastatud kulukohtade sidumist kuluallikatega tuli vastavalt uurimuse protsessidele järgmise ja viimase asjana kokku panna kulumudel, mis annaks vajalikud väljundid. Väljundite leidmine põhines samuti ekspertide hinnangutel ning ankeetküsitluste ja intervjuude põhjal sai kaardistatud vajalikud väljundid, mida on kujutatud tabelis 1.

Need väljundid said aluseks kulumudeli matemaatiliste seoste loomisel ning kajastasid lõpptulemusena kogu olulist infot, mida väljapakutud KVMS kulumudel pidi kajastama.

■ Kulumudel

Uurimuse tulemusena sai koostatud MS Exceli-põhine näidiskulumudel, milles oli esmalt vaja kehtestada konkreetsem kuluobjekt, mis antud uurimustöö kontekstis on võimepõhise KVMS projektis uuritav sõidukimark ja -mudel. Lisaks tuli uuesti kasutusele võtta varem kirjeldatud elutsükli faasid, mis laias laastus liigitab andmed kasutuseelseteks kuludeks ja kasutusaegseteks kuludeks. Planeerimise ja hankimise faasi käigus jäävad kulud projekti kinnitamisel muutumatuteks ning ei muutu ajas, kuid kasutamisaasis tehtud kulud sõltuvad otseselt ajaperioodist ehk kui pikaks perioodiks on sõidukeid plaanis kasutada. Kasutuselt mahavõtmise faasi kulude andmed põhinevad samuti algsest prognoosil ning alles peale utiliseerimist saab teada reaalsed kulud.

Lõpptulemusena kajastab kulumudel kulusid, mida eksperdid pidasid oluliseks ning annab väl-

jundina vajalikud arvulised näitajad. Koostatud kulumudeli rakendamisel on võimalik analüüsida KVMS kogukulusid nii kilomeetri hinna põhiselt kui ka perioodipõhiselt. Lisaks saab kulusid võrrelda väeüksuste kaupa ning eristada konserveerimisperioodi kulusid. Kulumudeli kasutuselevõtmisega suureneks väeüksuste töökoormus minimaalselt, kuna andmete kogumine toimub pidevalt. Oluline on paremaks muuta andmete kogumise süsteem ja koondamine üheks tervikuks, mis annaks kaitsevägele võimaluse teha rohkem ressursiteadlikke otsuseid.

□ Kokkuvõte

Uurimuse eesmärk oli välja töötada näidiskulumudel, mida saab rakendada KVMS seotud võimeplaneerimise otsuste tegemiseks. Töö käigus selgus, et kulumudel keskendub kahele funktsioonile – see on nii otsustustööriist uute võimekuste planeerimisel kui ka eelarvestamise tööriist, millega saab analüüsida sõidukite kogukulusid ning läbi selle hinnata olukorra jätkusuutlikust ning riske. Lõpliku tulemusena koondati kulumudeli kriteeriumid ja väljundid ning tuvastati vajalike andmete allikad. Nende kolme sisendi alusel sai koostada näidismudeli, mis on kooskõlas ekspertide hinnangutega. Lõpptulemusena koostatud MS Exceli-põhine kulumudel võtab arvesse kõik kulukohad, mida eksperdid pidasid vajalikuks ning annab väljundiks olulised arvulised näitajad. Koostatud kulumudeli praktilisel rakendamisel kaitsevæes saaks suurendada võimeplaneerimiseks vajalike andmete kvaliteeti järgmise kümne aasta maismaasõidukite hankimise planeerimiseks.

□ Summary

The aim of the thesis is to create an example cost model that can be used for the decision-making for the next generation of Estonian Defence Forces land vehicle procurement. During the research it was concluded that the cost model focuses on two functions - it is a decision-making tool during the planning processes and it is also a fiscal tool for analyzing total life-cycle costs and to assess sustainability and risks.

As a final result, cost model criteria and needed outputs were combined with all the necessary data sources. Based on these three inputs, an example model could be drawn up, which is in line with expert assessments. The proposed MS Excel based cost model takes into account all the costs that experts deemed necessary and yields all the needed significant numerical figures. In practical implementation of the cost model, the Defense Forces could increase the quality of the data needed for capacity planning for the planning of procurement of land vehicles for the next ten years.

□ Viidatud allikad

1. V. Gecevskas, P. Chiabert, Z. Anisic, F. Lombardi ja F. Cus, „Product Lifecycle Management Through Innovative And Competitive Business Environment,” *Journal of Industrial Engineering and Management*, kd. 3, 10 2010
2. NATO RTO, „Methods and Models for Life Cycle Costing,” 06. 2007. [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/RTO-TR-SAS-054/\\$\\$TR-SAS-054-ALL.pdf](https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/RTO-TR-SAS-054/$$TR-SAS-054-ALL.pdf).
3. A.H.M. Ooi Chu Huia, „The Role of Cost Breakdown Structure in Life Cycle Cost Model” 05. 2015. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.researchgate.net/publication/282464221_The_Role_of_Cost_Breakdown_Structure_in_Life_Cycle_Cost_Model.
4. T. Haldma ja S. Karu, “Kuluarvestuse süsteemi loomine ettevõttes”, Tartu, OÜ Rafiko, 1999.

Team Eco Race Estonia võistlusauto tugevusanalüüs

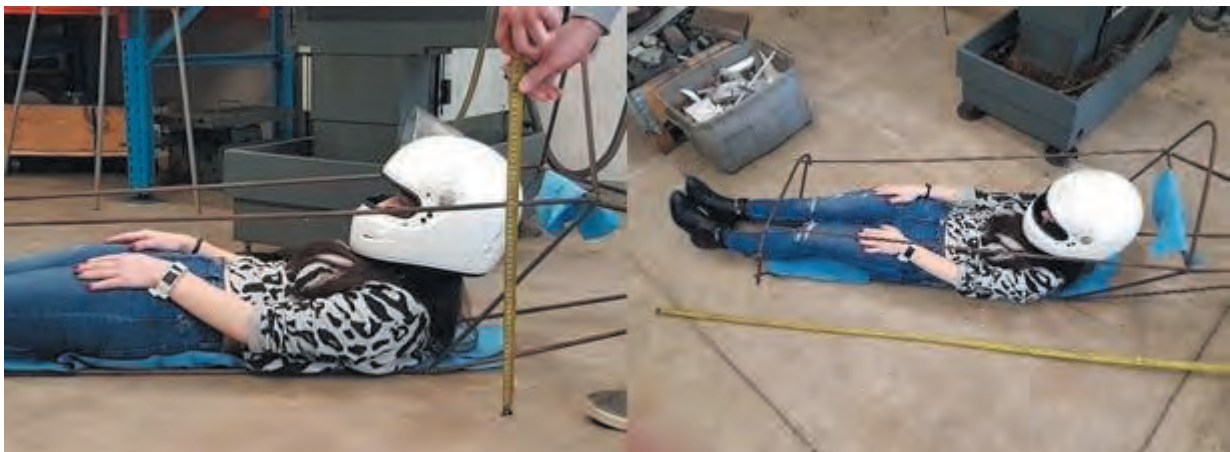
Autor: Kristjan Kabanen

Juhendajad: Tallinna Tehnikakõrgkooli tehnikainstituudi lektorid Tavo Kangru ja Ruubo Roots

Sissejuhatus

Shell Eco-Marathon võistlussari sai alguse Ameerika Ühendriikides 1939. aastal, kus kütusetootmise ettevõttes Shell sõlmisid töötajad kihlveo: „Kes suudab sama kütuse kogusega läbida kõige pikema distantsi enda poolt valmistatud sõidukiga?“. Sellest alates on võistlus kasvanud suuremaks ning jõudnud ka Euroopasse, hetkel on korraldamisel 34. hooaeg.

ja vastupidav. Esialgne traatumudel on projekteeritud CAD joonestusprogrammis kasutades eeldatava tulevase sõidukijuhi skaneeritud 3D mudelit, seejärel teostatud tugevusanalüüs simulatsiooniprogrammis ANSYS 18.2. Peale tugevusanalüüsi kontrollitakse projekteeritud raami mõõtmeid sõidukijuhiga (vt Pilt 1) ning seejärel algab sõiduki valmistamise protsess.

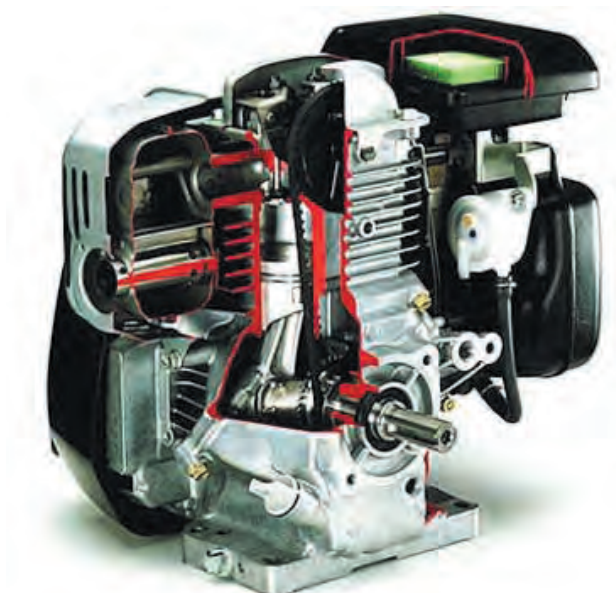


Pilt 1. Testraami kontroll juhiga.

Tallinna Tehnikakõrgkooli (TTK) võistlussõiduki projekteerimisel lähtuti Shell Eco-Marathon 2018 reeglitest ning teiste võistlussõidukite analüüsist. Analüüsi tulemusena selgus, et eelkõige kasutati raami valmistamiseks alumiiniumsulameid ning kerekooriku valmistamiseks süsinikkiudu. Sellest tulenevalt valiti võistlussõiduki raami konstruktsiooniks fermkere ja materjaliks alumiiniumsulam. Projekti teostatakse suures osas Tallinna Tehnikakõrgkooli tehnikainstituudi laboratuurimites, kus on võimalik kasutada treipinke, freespink, lintsaagi ning muid erinevaid käsiseadmeid, mis sobivad alumiiniumi mehaaniliseks töötlemiseks. Valmistatava sõiduki puhul on tegemist kergsõidukiga, mis sarnaneb kolmerattalise jalgrattaga. Sõiduki konstruktsioon peab olema võimalikult kerge

Tehnilised tingimused

Sõiduki raami projekteerimise aluseks olid Shell Eco Race Europe reeglid (vt tabel 1) ning juhi kehadimensioonid. Juhiks saab olema isik, kes on ca 160 cm pikk ning kaalub 55 kg. Jõuajamiseks on valitud mootor Honda GX35 (vt Pilt 2). Ülekandetüübiks on valitud kettülekanne. Rehvide läbimõõt 20 tolli tuleneb eelmainitud reeglitest. Rehvideks kasutatakse Shell Eco-Marathon rehve, mis on väikese veeretakistusega, 2 kg/t kohta. Rehvirummudeks on valitud mägijalgratastel kasutatavad rummud ning piduritena kasutatakse hüdraulilisi ketaspidureid, mille rakendamine on viidud pedaalile. [8]



Pilt 2. Jõuallikas HONDA GX35

□ Mõjuvate jõudude analüüs

Leiame kurvi läbimise maksimaalse kiiruse valemiga (1):

		(1)
kus	v	-maksimum kiirus km/h;
	μ s	-hõõrdetegur maapinna ja rehvi vahel, umbkaudu 0,6 (kuiv asfalt)
	g	-konstantne raskuskiirendus 9,8 m/s ² ;
	r	-läbitava kurvi raadius, 8 m .

Leitud kiirus 24.9 km/h ei ole kurvi läbimiseks sobiv ja see tuleb valida väiksem, kuna sõidukile tekib liiga suur koormus, mille tulemusel raami materjali voolavuspiir ületatakse. Selleks valitakse kurvi läbimiseks kiirus $v = 6,06$ m/s ehk 21,8 km/h. Valitud kiirusel tekib 642,6N suurune tsentrifugaaljõud mis on leitav valemiga (2) [2]:

		(2)
kus	r	-kurvi raadius, 8 m
	v	-kiirus, 6,06 m/s ;
	m	-mass, 140 kg .

Kurvi läbimisel tekkiv kiirendusjõud 0,468 on leitav valemiga (3) [3] :

		(2)
kus	r	-kurvi raadius, 8 m
	v	-kiirus, 6,06 m/s ;
	g	-raskuskiirendus 9,8 m/s ² .

Tabel 1.
Nõuded sõidukile [1]:

- Maksimaalne kõrgus alla 1000 mm;
- Rööpme ulatus vähemalt 500 mm;
- Kõrguse ja rööpme suhe väiksem kui 1,25;
- Rataste telgede vahe vähemalt 1000 mm;
- Maksimaalne laius ei tohi ületada 1300 mm;
- Maksimaalne pikkus ei tohi ületada 3500 mm;
- Maksimaalne sõiduki mass ilma juhita 140 kg;
- Koormuskatse turvakaarele koormusel 700N, deformatsioone ei tohi esineda.

Pidurdamisenergia leidmiseks leiame algselt kiineetilise energia. Kineetilise energia $E_k=8624,7$ J on leitav valemiga (4) [4]:

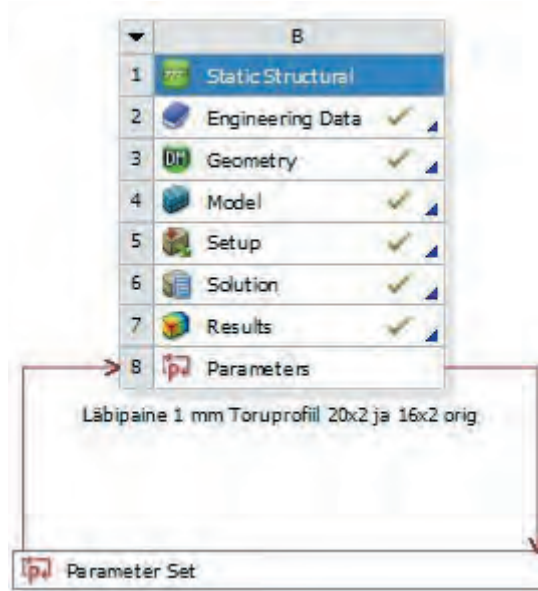
		(4)
kus	m	-mass, 140 kg ;
	v	-kiirus, 40 km/h= 11,1 m/s.

		(5)
kus	E_k	-kineetiline energia, 8624,7 J ;
	s	-tee pikkus pidurdamisel, 10 m.

Leiame jõu, mille peavad sõiduki pidurid tekitama liikudes maksimumkiirusel, et sõiduk aeglustaks ülal nimetatud tingimustel. Jõud on leitav valemiga (5). Kiirusel 40 km/h ning 10-meetrise pidurdusteekonna korral mõjub raamile jõud 863 N.

□ Tugevusanalüüs

Enne valmistamist kontrolliti raami järgnevatele situatsioonidele: turvakaare kontroll kurvis tekkivatele jõududele ning pidurdamisel tekkivatele jõududele. Raami materjaliks valiti Al6060F22-T6 ning profiiliks 20x2 ja 16x2 mm ümardoru (vt Tabel 2). Valik teostati optimeerides raami massi ning läbipainet. Optimeerimine teostati simulatsiooniprogrammis ANSYS Workbench (vt Pilt 3), milles loodi erinevad kombinatsioonid materjalidest ja profiilidest ning kontrolliti koormusel tekkivaid sisepingeid. Voolepiiri ülemiseks piiriks valiti maksimaalselt 150 MPa ja otsustavaks faktoriks valiti mass.



Pilt 3. Raami optimeerimine.

Tabel 2 Raami massi ning läbipainde arvutus

Jrk.	Materjal	Põhiprofiil [mm]	Turvakaar [mm]	Mass [kg]	Läbipaine [mm]
1	Alumiinium 6060F22-T6	16x2	20x2	4,24	0,9
2	Alumiinium 6060F22-T6	16x1	20x1	2,2	1,3
3	Alumiinium 6060F22-T6	14x2	18x2	3,7	0,99
4	Alumiinium 6060F22-T6	14x1	18x1	1,9	1,7
5	Ehitusteras S235	16x2	20x2	12,02	0,26

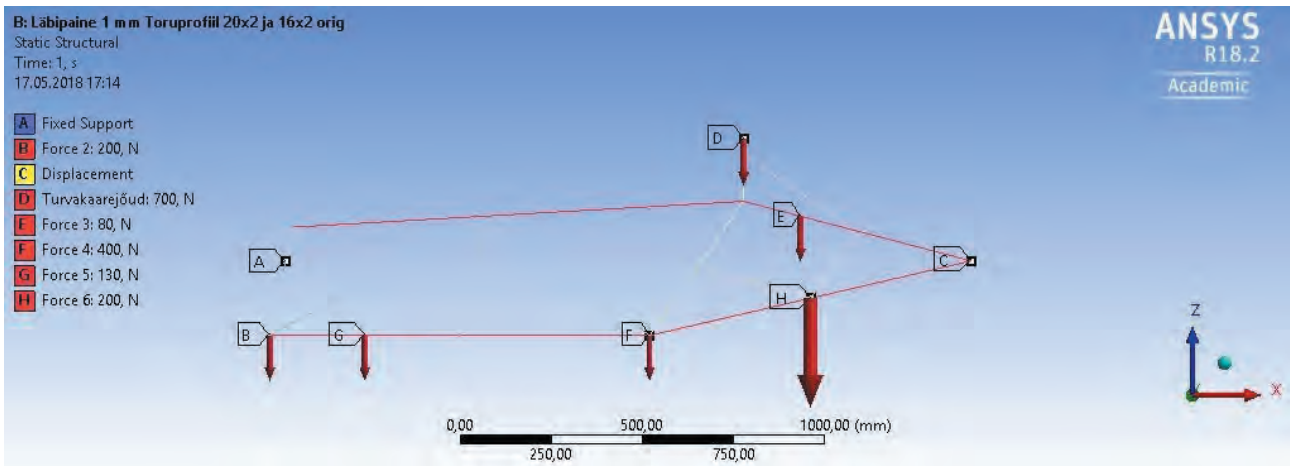
□ Turvakaare kontrolli analüüs

Läbimaks turvakaare testi, valmistati sõidukile kaar, mis peaks vastu pidama koormusele 700 N ilma, et tekiks jäädavat deformatsiooni. Analüüs viidi läbi selliselt, et raami rataste kinnituspunktidesse paigaldati kaks jäika tuge, mis tähistatud tähega A, imiteerimaks rataste asukohta. Tagumise telje juurde pandi kaks liikutavat tuge tähistatult tähega C. Toed peavad olema liikuvad kuna jõu avaldumisel raamile liigub raam x-telje suunas. Jõud, mis mõjub turvakaarele on märgitud tähega D = 700 N (vt Pilt 4). Mootori poolt tekitatav jõud tähega H= 200 N, kooriku poolt tekitatav jõud E= 80 N ning G= 130 N. Sõitja mass on jaotatud ära punktidesse B= 200 N ning F=400 N.

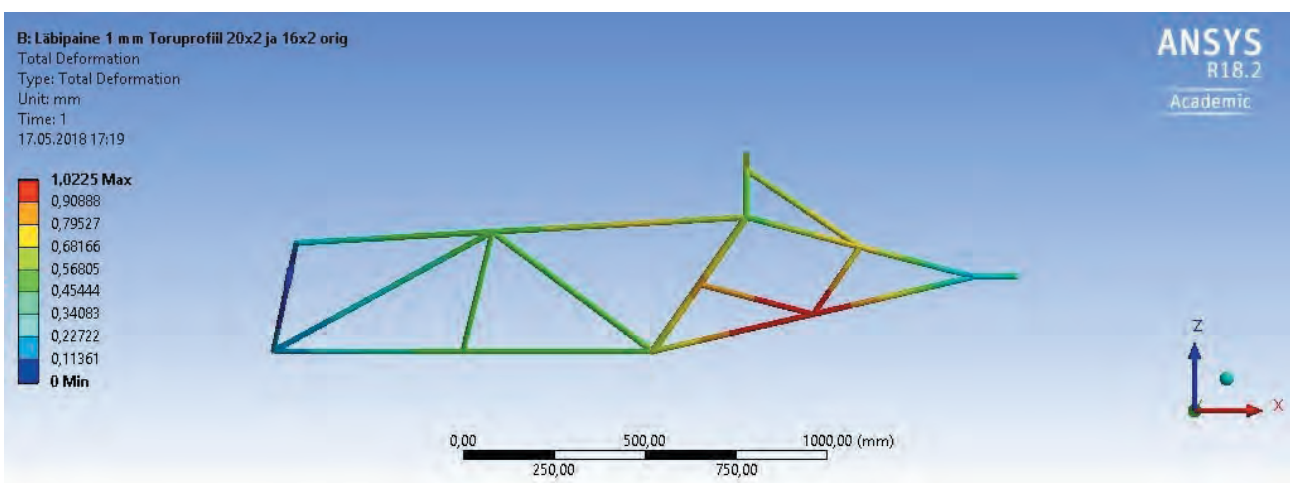
Analüüsi tulemusena jõuti järeldusele, et kõige suurem läbipaine toimub mootori asukoha juures. Läbipainde suuruseks 1 mm. Märkimisväärsed deformatsiooni antud situatsioonis ei toimu ning turvakaar täidab ettenähtud nõuet (vt Pilt 5). Maksimaalne sisepeinge on 50 MPa, mis ei ületa Al6060F22-T6 voolavuspiiri 170 MPa (vt Pilt 6).

□ Raami kontroll kurvis tekkivatele jõududele

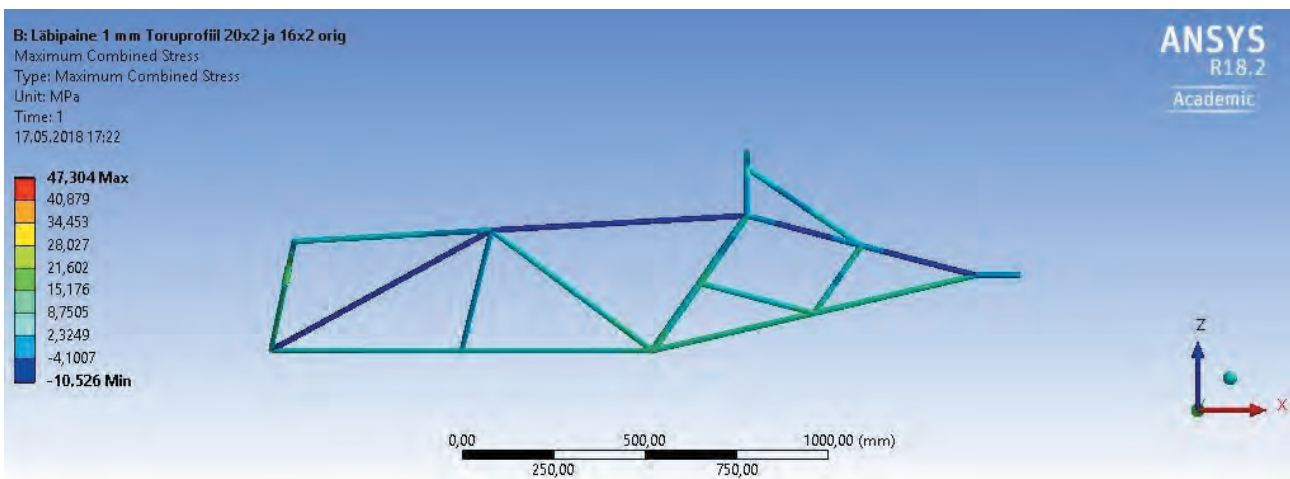
Analüüs tuleb teostada selleks, et kontrollida, kas sõidukiga on võimalik kurve läbida maksimaalkiirusega. Raami kinnituspunktide asukohta ega tüüpi tarkvaras ei muudetud: nende puhul on tingimu-



Pilt 4. Kinnituspunktide ja jõudude asukoht



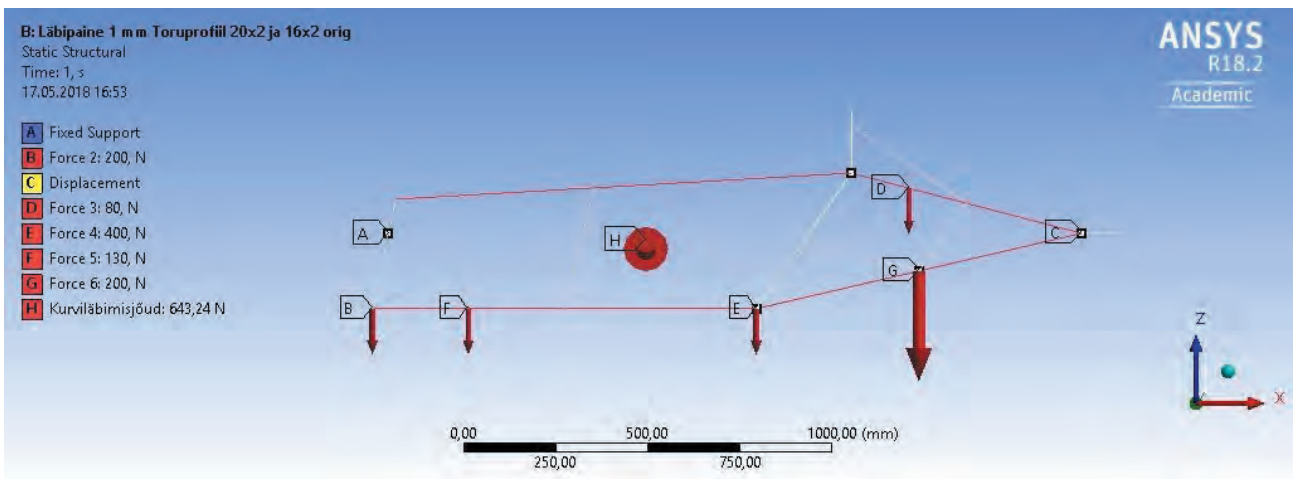
Pilt 5. Maksimaalne läbipaine.



Pilt 6. Maksimaalne sisepinge.

sed täpselt samad, nagu eelmise analüüsi korral. Jõudude asukohta muudeti ning lisati sõitja poolt tekkiv tsentrifugaaljõu komponent. Antud katses arvestati sõitja massiks 600 N. Kuna juht on sõidukis pikali asendis, kandub survepunkt üle suuremale pinnale. Selleks on juhi mass jagatud ära

kahe punkti $D = 400$ N ning $B = 200$ N vahel. Punkt $E = 200$ N on paigutatud mootori ning veoülekande ligikaudne mass. Punktidesse $G = 180$ N ja $F = 80$ N on paigutatud kooriku mass. Kurvi läbimisel tekib jõud 642,6 N, mis on rakendatud katsesse tähega G ja on zy-telje suunas märgitud (vt Pilt 7).



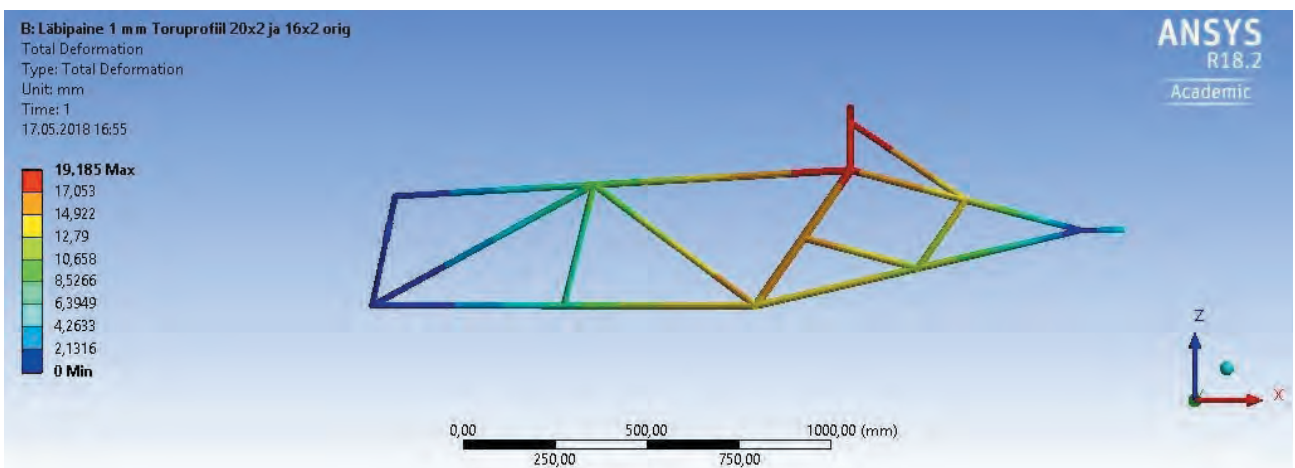
Pilt 7. Kinnituspunktide ja jõudude asukoht.

Analüüsi tulemuseks saadi maksimaalne läbipaine 20 mm. Suurim läbipaine esines turvakaare juures, kuna turvavöö kinnituspunktid ühendati seljatoe ning turvakaarega (vt Pilt 8). Antud analüüsis pole arvestatud aerodünaamilise koormusega, mis tuleks täpsema analüüsi korral lisada. Maksimaalne sisepinge materjalis 152 MPa, mis ei

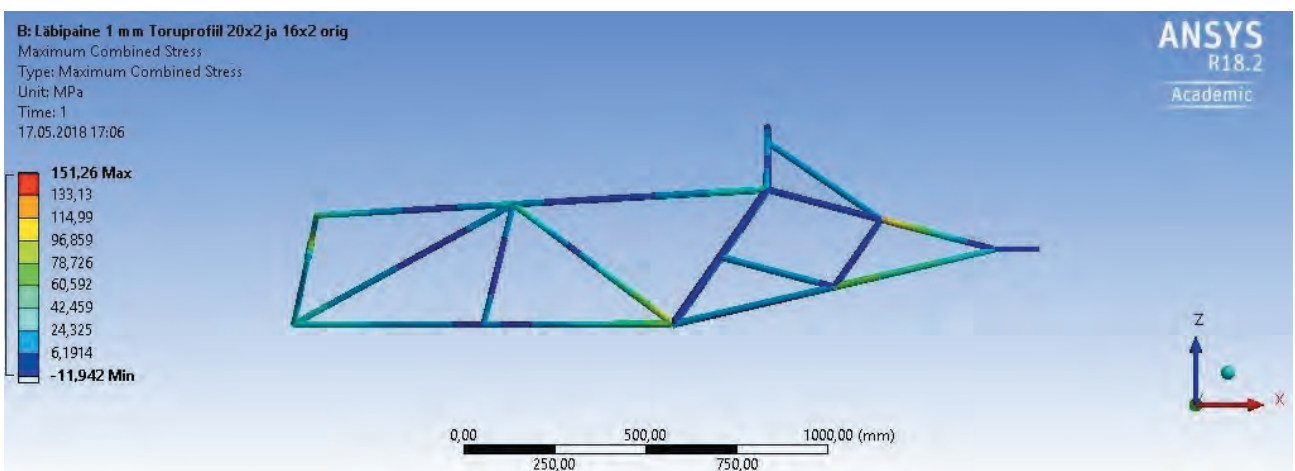
ületa AW6060F22T6 voolavuspiiri, milleks on 170 MPa (vt Pilt 9).

■ Raami kontroll pidurdusjõududele

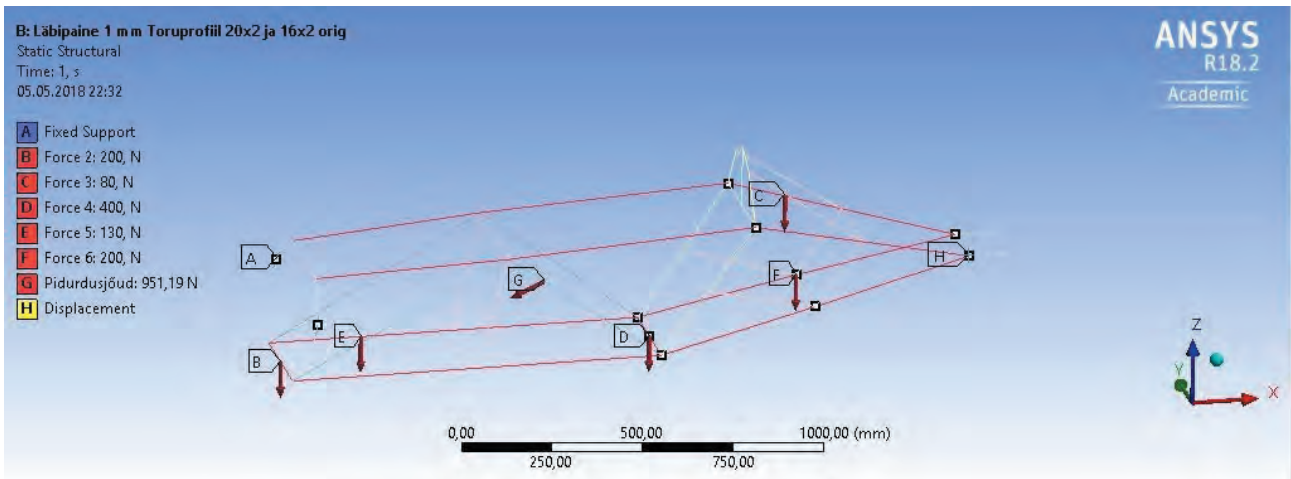
Pidurdusjõudude kontroll raamile teostati maksimaalsel kiirusel pidurdades tekkivate jõududega.



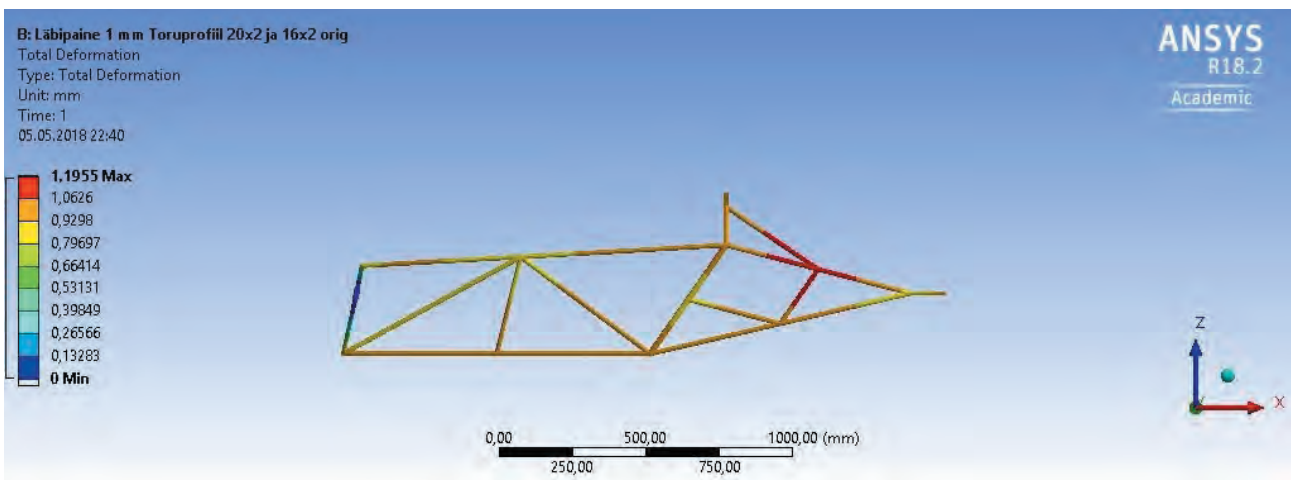
Pilt 8 Maksimaalne läbipaine.



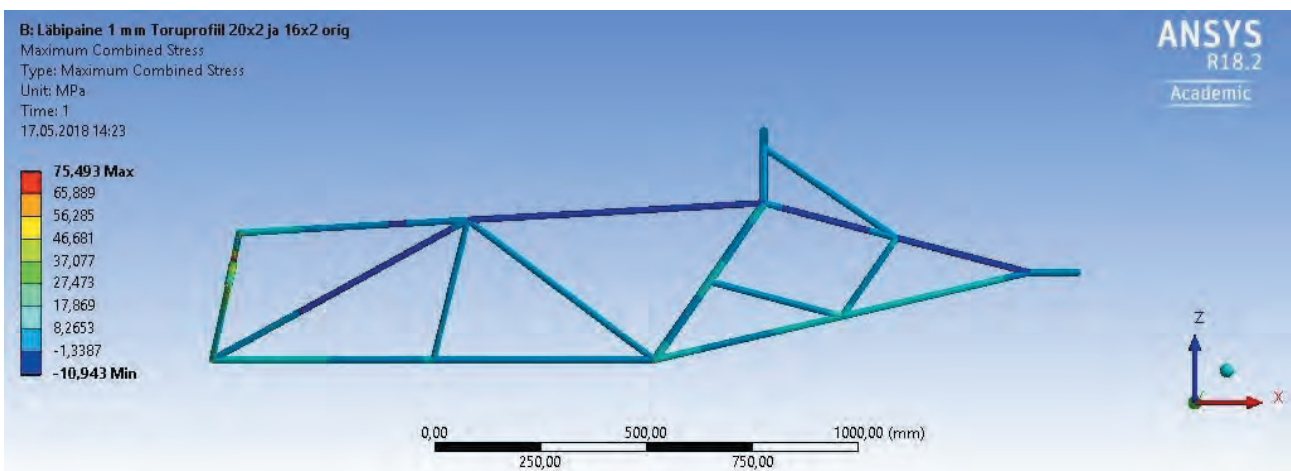
Pilt 9 Maksimaalne sisepinge.



Pilt 10 Kinnituspunktide ja jõudude asukoht.



Pilt 11 Maksimaalne läbipaine.



Pilt 12 Maksimaalne sisepinge.

Selleks võeti aluseks 40 km/h kiiruse juures tekkinud jõud ning arvutati välja pidurdusteed, milleks saadi 10 meetrit. Sellisel sõiduki aeglustamise tulemusena tekib jõud $G = 863$ N. Kinnituspunktid raamil jäeti samadesse punktidesse nagu eelneval analüüsil, kuid juurde lisati pidurdamisel tek-

kiv jõud, paralleelselt raami konstruktsiooniga, xz-telje suunas (vt Pilt 10). Jõud $B = 200$ N, $D = 400$ N imiteerib sõitjat ning jõud $C = 80$ N, $E = 130$ N kooriku poolt tekitavat jõudu ning tähega $G = 952$ N on märgitud pidurdamisel tekkinud ettevedav jõud.

Tulemuseks saadi läbipaine 1,2 mm. Kuna juht liigub oma massiga ettepoole, kandub pidurdamisel tekkiv jõud läbi turvavöö edasi raamile. Konstruktsiooni torud toimivad nii tõmbele kui ka survele. Suurim läbipaine on mootori juures (vt Pilt 11). Maksimaalne sisepinge materjalile antud situatsioonis on ümardatult 80 MPa, mis ei ületa AW6060F22-T6 voolavuspiiri, milleks on 170 MPa (vt Pilt 12). Antud tulemus loetakse täidetuks, kuna raam ei deformeeru liigselt ning peab vastu antud jõududele.

■ Kokkuvõte

Projekti eesmärgiks oli projekteerida ja valmistada Team ERE võistlussõiduk, mis vastaks Shell Eco Marathon Europe reeglitele. Selleks projekteeriti sõiduk ja teostati tugevusanalüüs raamile. Raami projekteerimisel arvestati ja analüüsiti kolme erinevat situatsiooni: turvakaare tugevusnõuet, kurvi läbimisel ja pidurdamisel tekkivaid jõude, teostati raami tugevuskontroll. Tingimuseks seati materjali AW6060F22-T6 voolavuspiir 170 MPa. Esimesel situatsioonil leiti raami läbipainde suuruseks 1 mm ning maksimaalne sisepinge 50 MPa, mis ei ületa tugevustingimust. Teise situatsiooni analüüsi tulemuseks saadi maksimaalne läbipaine 20 mm ja maksimaalseks sisepingeks materjalis 152 MPa, mis ei ületa tugevustingimust. Kolmanda situatsiooni tulemuseks saadi läbipaine 1,2 mm ja maksimaalseks sisepingeks ümardatult 80 MPa, mis ei ületa jällegi materjali AW6060F22-T6 voolavuspiiri. Eelnevast tulenevalt võib järeldada, et projekteeritud võistlussõiduki raam on piisava tugevusega ning vastab reeglitest tulenevatele nõuetele. Tingimused täidetud, otsustati alustada raami prototüübi valmistamisega Tallinna Tehnikakõrgkooli õppelaborites.

■ Summary

The aim of the thesis was to project Team ERE racing vehicle frame, which complies with the rules of Shell Eco Marathon Europe. Several steps had to be taken to complete project in order to construct a racing vehicle frame. Firstly, the information was gathered on the internet about vehicles made by competitors, after that, an overview of the used materials was obtained. Aluminum alloys were main materials used in the manufacturing process for this kind of frames. After material selection, the first drawings were made to determine the frame of the eco car, and then the tubeprofile was selected. Choice of tube profile was based on deflection and weight results from the simulation.

In the simulation program different tube diameters and wall thicknesses were analyzed. Next, strength calculations were carried out on a frame with tube diameters selected 20 and 16 mm with wall thickness 2 mm.

Three different situations were simulated: the yield strength of roll bar, vehicle frame during cornering and braking. Based on these simulations, the decision was made whether the racecar frame could be constructed in such way or not. In these simulations material yield strength was analyzed by applying force, whether the roll bar meets the competition requirements and will not have permanent deformation (EN AW6060F22-T6 yield strength 170 MPa). Based on the simulation process it was decided that the results were sufficient to start producing prototype frame in the study laboratories of Tallinn University of Applied Sciences.

As a result, the overall cost of the frame of Team ERE Eco-Race Car is 2950 €.

■ Viidatud allikad

[1] S. Simmons, „Shell Eco-Marathon 2018,“ 2018. [Võrgumaterjal].

Available:
https://www.shell.com/energy-and-innovation/shell-ecomarathon/_jcr_content/par/toptasks_1617110573.stream/1502280782651/d49e8f4ba7af8b482f241965fad3783a59c0c2d-02f61e9dbb96bc01a9aed7412/shell-eco-marathon-2018-global-ruleschapter-1.pdf. [Kasutatud 3 mai 2018].

[2] TTÜ Kirjastus, Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn, 2012, p. 37.

[3] „g-Acceleration Calculator - Curve, Circuit,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://rechneronline.de/g-acceleration/curve.php>. [Kasutatud 6 mai 2018].

[4] TTÜ Kirjastus, Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn, 2012, p. 38.

Kroomi elektrolüütilise pindamise tehnoloogia väljatöötamine

Autor: Hans Juurikas

Juhendaja: Tallinna Tehnikakõrgkooli ringmajanduse ja tehnoloogia instituudi professor Toomas Pihl

Sissejuhatus

Lõputöö on suunatud terase ja alumiiniumsulamite elektrokeemilisele kroomiga katmisele. Hetkel olemasolevaid käsiraamatuid kasutades ei ole võimalik pinnata kroomi ühtlaselt detailile. Erinevate elektrolüüdi tootjate meetodikad ei sobi kokku, eriti kui on vaja kasutada lokaalgalvaanikat ning vannigalvaanikat. Seetõttu seati lõputöö eesmärgiks sobiva tehnoloogilise protsessi väljatöötamine kroompinde saamiseks.

Tänapäeva tööstus ei ole kaasa tulnud taaskasutamise trendiga. Kui masinal on mõni detail kulunud, siis enamasti ei parandata seda ära, vaid ostetakse uus. Samas on võimalik suurem osa utiliseeritavatest detailidest parandada pindamise teel. Kroomi kasutamine tagab väga hea kõvaduse ja vastupidavuse taastatud toodetel ning masinaosadel, võimaldades neid taaskasutada ning parandada kiirelt ja soodsalt.

Lõputöö esimeses osas selgitatakse erinevaid pindamistüüpe, nende eeliseid ja puudusi. Erinevaid pindamistehnoloogiaid on välja töötatud mitmeid, sõltuvalt pindekihi paksusest, nõuetest erinevatele materjalidele ja muudele spetsiifilistele tunnustele. Peamised tehnoloogiad, mida saaks kasutada tööstuses nominaalmõõtmete taastamiseks või kulumiskindluse suurendamiseks, on elektrokeemiline ja keemiline pindamine, kuumtsinkimine ning erinevad pihustusmeetodid. Lisaks on töös välja toodud kasutatavate materjalide peamised omadused ning põhjused, miks neid kasutatakse. Käesoleva töö teine osa on seotud eksperimentaalse osaga. Uuritakse nii terase kui ka alumiiniumsulamite kroomiga katmise tehnoloogiaid. Muudetakse erinevaid elektrolüüsi parameetreid, näiteks: puhastusmeetmeid enne kroomi elektrolüüsi, voolutugevuse mõju pinde nakkele ning uuritakse, kas poleerimine annab parema tulemuse kui seda tehakse vahetult enne kroomiga pindamist või ka vahe-etappide käigus.

Lõputöö väljundiks on kroomiga elektrolüütilise pindamise tehnoloogia väljatöötamine, mis võimaldab kroomida detaile kiiremini ning efektiivsemalt kui hetkel väljatöötatud meetodikad.

Kroomimine

Kroomiga katmine tagab suurepärased kulumis-, hõõrdumis- ja korrosioonikindlad omadused. Lisaks on tekkinud pindel väga hea kõvadus ning väike hõõrdetegur. Kroom sobib hästi vasesulamite, teraste ja tsingi katteks. Kroomiga on võimalik katta terast ka mitmekihiliselt ning vähendada terasdetailide sisepingeid. Selle meetodi abil viiakse mõõtu näiteks laagripindasid ja kulunud liuglaagreid. Kroomimine on levinud terase katmise viis, kuid ilma vahekihita ei kaitse kroom terast korrosiooni eest, kui pealiskiht saab kahjustada. Kui kroomitakse terast visuaalse tulemuse saamiseks, kasutatakse aluskihiks vaske või niklit, kuna neid materjale kasutades võimendub kroomi läike mõju. Kroomi tunneb ära tema peegelduva helesinise metalse läike järgi ning peetakse palju modernsemaks ja kvaliteetsemaks võrreldes teiste peegelduvate pinnetega.

Elektrolüüs

Elektrolüüs on keemiatööstuses levinud meetod, kus mitteiseenesliku reaktsiooni toimuma panemiseks kasutatakse elektrivoolu. Tööstuses on elektrolüüs oluline samm, eraldamaks lihtsaid looduslikest materjalidest, näiteks maakidest.

Elektrolüüsiks nimetatakse protsessi, kus vabu ioone sisaldavas aines, mis on kas lahustatud või sulatatud, toimuvad alalisvoolu läbijuhtimisel elektroodidel reaktsioonid ning eralduvad koostisosad.

Elektrolüüsiks on vaja:

- Elektrolüüti ehk vabu ioone sisaldavat ainet. Ilma vabade ioonideta pole elektrilaengul kandjat ning elektrolüüsi ei toimu.
- Alalisvooluallikat, millest tuleva energia abil saab ühelt poolt ioone juurde tekitada ning teiselt poolt ioonidelt elektrone ära võtta, muutes nad ioniseerimata aatomiteks.
- Kahte elektroodi, mis on füüsiliseks vahendajaks elektrolüüdi ja vooluringi vahel.

Elektroodid on üldjuhul valmistatud metallidest või grafiidist. Elektroode valitakse tavaliselt sõltuvalt elektroodi ning elektrolüüdi omavahelistest interaktsioonidest ning hinnast. [1], [2]

Elektrolüüsi võtmeprotsessiks on pidev elektronide liikumine elektroodide vahel. Elektrolüüdi vanni sukeldatud elektroodidele potentsiaali rakendamisel hakkavad elektroodid tõmbama vastaslaenguga ioone. Positiivselt laetud katioonid liiguvad elektrone lahusesse andva katoodi poole ning negatiivselt laetud anioonid liiguvad positiivselt laetud anoodi poole.

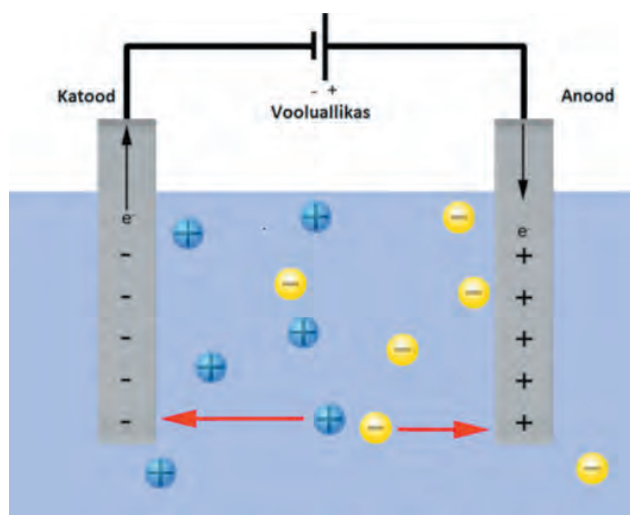
Elektroodidelt võetakse ioone ära või antakse juurde. Aatomid, mis annavad elektrone ära või võtavad juurde, lähevad ioonidena lahusesse ning ioonid, mis saavad elektrone juurde või annavad ära, kaotavad laengu ning eralduvad elektrolüüdist. Energias kogu protsessi jaoks annab alalisvooluallikas. Kui tekkinud saadused on elektrolüüdist erinevas agregaatolekus, saabki nad eraldada. Näiteks keedusoola lahuse elektrolüüsi puhul on saadused, vesinik ja kloor, gaasilised ning tõusevad lahuse kohale, kust need siis mujale juhtida saab. [2], [3]

Elektrolüüdi võrrand: $2 \text{NaCl} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH} + \text{H}_2 + \text{Cl}_2$

Katoodi protsess: $2\text{H}_2\text{O} + 2e^- = \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$

Anoodi protsess: $2\text{Cl}^- - 2e^- = \text{Cl}_2$

Selel 1 on näidatud elektrolüüsi protsessi, kus anoodile liigub vooluallikast elektrivool, loovutades elektrone elektrolüüti. Katood liidab elektrolüüdisisi vabu elektrone lõpetades vooluringi. [4]



Sele 1. Elektrolüüsi protsess [4]

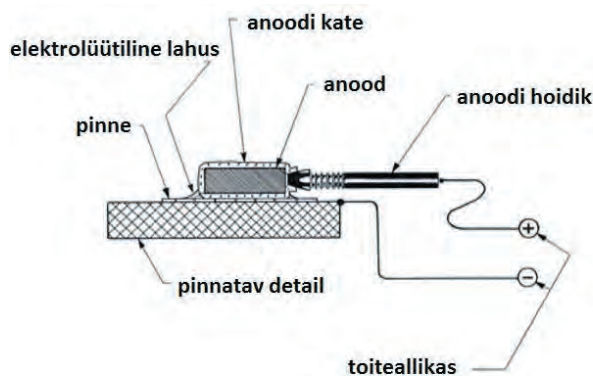
Vabu ioone sisaldava elektrolüüdi saab ioone sisaldava aine reageerimisel lahustiga (näiteks veega) või sulatamisel. [1], [2]

□ Lokaalgalvaanika

Lokaalgalvaanika sarnaneb suurelt osalt vannigalvaanikale, kuna mõlemad kasutavad elektrolüütilist protsessi. Peamine erinevus on see, et kasutatakse anode, mis on valmistatud eelnevalt põhjalikult puhastatud ja töödeldud elektrotehnilisest grafiidist.

Grafiiti kasutatakse materjali hea kuumakindluse tõttu. Metalse anoodi kasutamine lokaalgalvaanikas suurendaks nakketugevuse halvenemise tõenäosust läbi liigse kuumuse, mis tekib anoodi ja pinnatava materjali väga lähedal asetsemisest. Antud protsess kasvatab pinnet kiiremini kui vannigalvaanika, kuna elektrolüüdis olev metallisisaldus on suurem.

Lokaalgalvaanikat kasutatakse peamiselt suurte detailide restaureerimisel, kus ei oleks efektiivne kogu detaili pindega katta. Vajalik koht puhastatakse ning ümbrus kaetakse kinni. Protsessi saab kasutada ka vannigalvaanikas tekkinud defektide ja vigade paranduseks. Lokaalgalvaanilise pindamise tööpõhimõte on näidatud selel 2. [5]



Sele 2. Lokaalgalvaanika tööpõhimõte [6]

□ Alumiinium

Puhast alumiiniumit ei ole võimalik leida looduses. Enamjaolt kasutatakse levinud mineraali boksiiti alumiiniumi tootmises. Boksiit koosneb kuni kaheistkümnest eri mineraalidest ning metallidest, millest üks osa on alumiiniumhüdroksiid. Esmalt peab boksiidi puhastama Bayeri protsessi abil, mis annab 30–60% alumiiniumoksiidi algsest boksiidist. Järgnevalt kasutatakse Hall–Héroult'i elektrolüüsi protsessi, et saada alumiiniumit. [6]

Saadud materjal on kerge, paindlik ning korrosioo-

nile vastupidav tänu alumiiniumi peal olevale üliõhukesele oksiidikihtile.

Alumiiniumiga on võimalik sulameid moodustada peaaegu kõikide metallidega. Alumiiniumi töötlus on võimalik nii külmalt kui ka kuumalt. Alumiinium on tulekindel, ei ole toksiline nagu plastikud ning saab kasutada kõigest 4 mikroni paksuse kihina või eriti peenikese traadina.

Peamine probleem alumiiniumsulamite pindamis- sel on teadmatuse, mis sulamist materjal täpsemalt valmistatakse. Kuna paljud erinevad sulamid näevad samasugused välja, siis visuaalsel vaatlusel ei ole enamasti võimalik kindlaks teha, missugust tüüpi alumiiniumiga on tegu. Erinevad sulamid vajavad erinevat temperatuuri ning elektrolüüdi koostist, mis suurendab vigade tekkimise tõenäosust. Käesolevas töös on kasutatud alumiiniumsulamit 6063, mis koosneb 98,6% alumiiniumist, 0,4% ränist ja 0,7% magneesiumist. Kasutatud alumiiniumsulami 6063 standard on BS EN 573-3:2013. [7], [8]

■ Teras

Teras on raua ja süsiniku sulam, mis jaguneb kolme rühma – üleeutektoidterased, kus süsiniku sisaldus on rohkem kui 0,8% ja vähem kui 2,14%; eutektoidterased, mille süsiniku sisaldus on 0,8% ja alaeutektoidterased, mille süsiniku sisaldus on väiksem kui 0,8% ning mida käesolevas töös kasutatakse. Lisaks sisaldab teras üks protsent mangaani ja vähestes kogustes muid metalle. Teras peetakse paljude poolest maailmas kõige tähtsamaks materjaliks, millele toetub suur osa ühiskonnast, alates autodest ja ehitusmaterjalidest kuni pesumasinate ja skalpellideni. Teras tüüpe on rohkem kui 3500, mis erinevad üksteisest füüsiliste ja keemiliste omaduste poolest nagu kulumis- ja korrosioonikindlus, kõvadus, tõmbetugevus jne. [5]

Ligikaudu 75% tänapäeva terase tüüpidest on leiutatud viimase 20 aasta jooksul. Teras on väga keskkonnasõbralik, olles täielikult taaskasutatav, vajab tootmiseks väga vähe energiat võrreldes teiste metallidega ning omab head kulumiskindlust. Innovatiivsed kergekaalulised teraskonstruktsioonid aitavad säästa aega ja ressursse. Teras, puutudes kokku õhu ja veega, hakkab redutseeruma oma algvormi, milleks on raudoksiid.

Tänapäeva teraste kasutamise puhul on see probleem välditav pindamistehnoloogiaid rakendades. Teras on materjal, mida on võimalik väga kergelt töödelda ning pinnata. Samuti on võimalik, lisades kroomi ja niklit sulamisse, valmistada roostevaba terast. Käesolevas töös kasutati S235 konstruktsiooniterast, mis koosneb 0,22% süsinikust, 1,6% mangaanist, 0,05% fosforist, 0,05% väävlis- ja

0,05% ränist. S235 standard on EN 10025 : 2004. [9], [10]

■ Ettevalmistus ja ohutus

Vastavalt detailile on elektrolüüsi ettevalmistuse staadium alati erinev. Pinnatav toode peab olema ilma roosteta, puhastatud vastavalt elektrolüüdi lahuse tootja kriteeriumitele ning olenevalt pindamise liigist ka eelnevalt aktiveeritud. Metallpinnal roostekihi olemasolul tuleb see eemaldada, et vältida rooste levimist pinde all. Rooste ebapiisav puhastus detailil põhjustab pinde mittenakkumist aluskihiga. Kui rooste on detaili läbiv, siis selle eemaldamiseks puuritakse ava materjalist läbi. Hiljem tuleb puuritud ja ümbritsevad alad katta jootega. Kasutades elektrokeemilist pindamist on soovitatud kasutada kaitsekandaid, -prille ja -riideid, et vältida happe sattumist nahale. Osade elektrolüütiliste protsesside puhul on tegemist kantserogeensete ainetega, mille puhul on kohustus kasutada ka kaitsemaski ning teostada elektrolüüsi hästi ventileeritud ruumis.

Peamine hape elektrolüütides on väävelhape ning seda kasutatakse üks osa hapet kahe osa destilleeritud vee suhtes. Pindamist on võimalik teha kõikvõimalikes mitte-metall anumates, mis peavad vastu elektrolüüdi happelisusele. Peamiselt kasutatakse 3–24 liitriseid anumaid, kuna neid saab vastavalt detaili mõõtmetele vahetada. Vahetades anumad vastavalt detailile saab vältida liigset elektritarbimist ning materjalikulu, mis tekib liiga suure elektrolüüdi vanni kasutusel. Suurtööstuses on kasutusel elektrolüüdivannid, mis mahutavad mitme meetri pikkuseid detaile.

Kasutades Caswell Inc. poolt toodetud materjale on kroomilahus taaskasutatav mitmekordselt, lisades kroomhelbeid lahusele perioodiliselt juurde. Samuti on võimalik tekkinud sade puhastada Caswelli poolt pakutavaid kemikaale kasutades. [11]

Vastavalt toote pinnatava ala suurusele tuleb valida ka vastav vooluallikas. Iga ruutsentimeetrise pinnatava ala kohta on vaja rakendada 0,3 A voolutugevust. Toiteallikas on soovitatav ühendada pinnatava materjaliga vasktraatide abil. Kasutada tuleb piisavalt suure diameetriga traati, et metall peaks vastu elektrivoolu läbimisel tekkinud kuumenemisele. Liiga väikse läbimõõduga traate kasutades on oht läbipõlemiseks.

■ Katseline osa

Käesolevas töös kasutatud lahused ning anoodid on toodetud elektrolüüsi lahuste tootjate Caswell

Inc. ja Sifco Inc. poolt. Seel 3 näidatud vooluallikana kasutati Sifco process 3030, mis võimaldab kasutada kuni 30 A suurust voolutugevust.



Sele 3. Toiteallikas Sifco process 3030 [12]

Testkehadele avade puurimiseks kasutati Promo Stouni Vrtacka PTB16B/230 puurmasinat kuue millimeetrise diameetriga puuriga. Kõik katsekehad puhastati ketaslõikuri Protool AGP 125-14 DE lihvkettaga Rhodius Schleifwerkzeuge. Elektrolüüdi temperatuuri tõsteti akvaariumi kütteseadmega AquaVital AVH100 ning lahuse temperatuuri mõõdeti kontaktivaba lasertermomeetriga Raytek Raynger ST.

Kroomi elektrolüüt valmistati teisendades Caswell juhendis kirjeldatud 1 galloni suuruse anuma jaoks võetud 2,6 l destilleeritud vett (tehniliseks otstarbeks), 1 kg kroomikristallide (Chrome effect crystals) ning 30 ml akuhapet (APChemicals 37% väävelhapet).

Töös kasutatavad valemid:

$$I=J \times S, \quad (1)$$

kus I – Voolutugevus (A);
 J – Voolutihedus (A/cm²);
 S – Pindala (cm²).

$$Ah=F \times A \times T, \quad (2)$$

kus Ah – Ampertunnid;
 A – Kaetav pindala (cm²);
 T – Nõutud pinde paksus (µm);
 F – Elektrolüüti iseloomustav kasutuskoeffitsient.

27 katse käigus töötati välja meetodika terase ja alumiiniumsulami kroomiga katmiseks. Katse-

te käigus muudeti pinnatavat materjali, anoodi ja katoodi kaugust, elektrolüüdi koostist, rakendatud voolutugevust ning anoodi materjali.

□ Terase kroomiga pindamise tehnoloogiline protsess

Vajalikud vahendid: Kroomi elektrolüüt (2,6 l destilleeritud vett, 1 kg kroomkristalle, 30 ml akuhapet), toiteallikas, vesinikkloriidhape, vedeliku pihusti või prits, tinast anood, isikukaitsevahendid, ventileeritud töökoht ja aurustumist takistavad kerad.

Ettevalmistus elektrolüüsiks:

1. Elektrolüüdi lahus paigutada ventileeritud töökohta alla.
2. Asetada tinaanood elektrolüüdi lahusesse.
3. Puhastada terasest detail sukeldades vesinikkloriidhappesse vähemalt 15-ks minutiks.
4. Sooritada märguvustest puhastatud pindele : kui detail on piisavalt puhas, siis vesi voolab maha, mitte ei tõmba tilka.
5. Ühendada katood vasktraadiga toiteallika pluss poolusega.
6. Asetada katood elektrolüüdi lahusesse 0,5 cm kaugusele anoodist.

Töö käik:

1. Lülitada sisse toiteallikas pingega 5,5 V.
2. Arvestades pindekihi paksuse suhet: 0,0125 mm 15 minuti kohta, arvutada välja vajalik pindamise aeg.
3. Pärast pindamist eemaldada detail elektrolüüdist ning põhjalikult pesta.
4. Tina anood puhastada.

□ Alumiiniumsulami kroomiga pindamise tehnoloogiline protsess

Vajalikud vahendid: kroomi elektrolüüt (2,6 l destilleeritud vett, 1 kg kroomkristalle, 30 ml akuhapet), toiteallikas, vesinikkloriidhape, elektrokeemiline puhastusvedelik SCM4100, aktivaator SCM 4300, elektrolüüt SPS5600, alumiiniumsulamist detail, vedeliku pihusti või prits, tinast anood, isikukaitsevahendid, ventileeritud töökoht ja aurustumist takistavad kerad.

Ettevalmistus elektrolüüsiks:

1. Elektrolüüdi lahus paigutada ventileeritud töökohta alla.
2. Asetada tinaanood elektrolüüdi lahusesse.
3. Puhastada alumiiniumsulamist detail elektrokeemilise puhastusega, kasutades 0,0031 Ah vooluhulka iga pinnatava cm² kohta.
4. Sooritada märguvustest puhastatud pinnale,

kui detail on piisavalt puhas, siis vesi voolab maha, mitte ei tõmba tilka.

5. Aktiveerida detail SCM4300-ga, kasutades 0,002 Ah vooluhulka iga pinnatava cm² kohta.
6. Nikeldada detail kasutades vähemalt 0,00225 Ah vooluhulka iga pinnatava cm² kohta saades nii 1,5 µm pindepaksuse.
7. Kinnitada katood vasktraadi abil toiteallika pluss poolusele.
8. Asetada katood elektrolüüdi lahusesse 0,5 cm kaugusele anoodist.
9. Töö käik:
10. Lülitada sisse toiteallikas pingega 5,5 V.
11. Arvestades pindekihi paksuse suhet: 0,0175 mm 15 minuti kohta, arvutada välja vajalik pindamise aeg.
12. Pärast pindamist eemaldada detail elektrolüüdist ning põhjalikult pesta.
13. Tina anood puhastada.

█ Mikrolihvide struktuurid ja pinde paksus

Pinde mikrostruktuuri uuringuks valmistati detailist väljalõigatud tükist mikrolihv ning uuriti mikroskoobi all. Valmistati mikrolihvid 9 katsekeha kohta.

Mikrolihvide valmistamiseks kasutati vormipressi SimpliMet 1000 (Sele 18). Eelnevalt katsekehade 10 x 10 mm suurusteks tükkideks lõigatud osad asetati seadme töölauale ja kinnitati tugelega paremaks püsti hoidmiseks. Seejärel kolvi tööpind langetati silindris alla ning puistati peale polümeerigraanuleid (fenoolvaigu pulber). Järgmisena toimus vormi kuumutus 1 minuti jooksul rõhul 200 bar-i temperatuuril 150 °C. Veega jahutamine kestis 3 minutit. [12]

Vormpressist saadud katsekehad lihviti ja poleeriti kasutades selleks Buehler Beta Grinder – Polisher

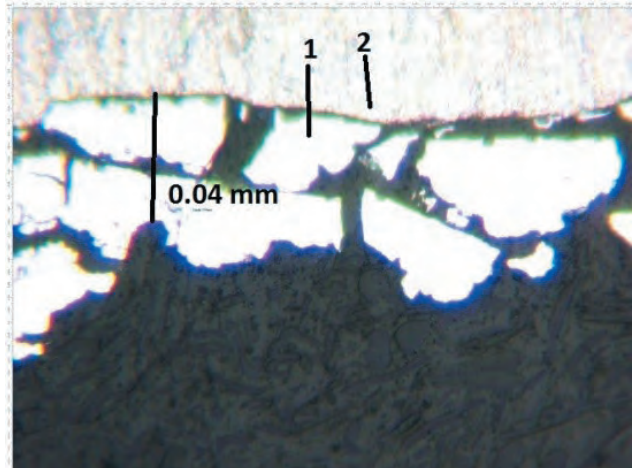


Sele 4. Mikrolihvid pärast poleerimist

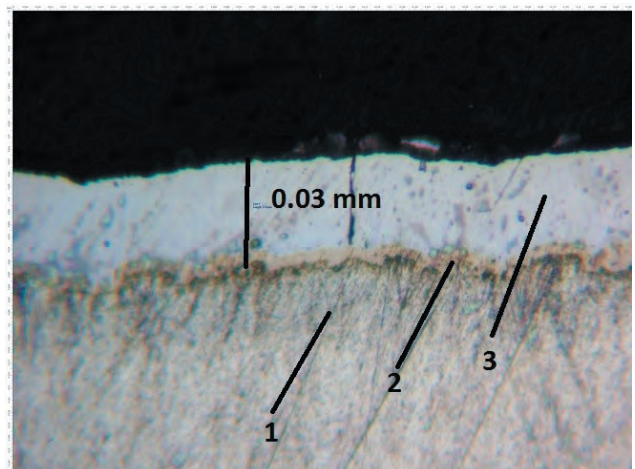
masinat. Selleks asetati mikrolihvid hoidikusse ja hoidik omakorda masina spindli külge. Seejärel seadistati masin: aluspinna ja spindli pöörlemine üksteisele vastusuunas, lihvimise kestvus 40 sekundit ja tagati jahutusvee juurdevool. Lihvkettad olid nelja erineva fraktsiooniga (180-st kuni 4000-ni). Lõplik poleerimine toimus viltkettal 1 µm teemantpulbriga.

Mikrolihvitud katsekehade struktuuri uuringud viidi läbi mikroskoobi all, mis oli 500 kordse suurendusega ning kalibreeritud 0,01 mm täpsusega. Pildid tehti kasutades kaamerat Kern Optics microscope camera ODC825.

Eesmärgiks oli uurida pindamise tulemusena saadud pindeid, nende struktuure ja kuidas pindamine erinevate parameetritega mõjutab pindekihti ja pinde struktuuri. Seel 5 näidatud katsel 8, kus alumiiniumsulamil kasutati elektrokeemilist puhastust enne kroomimist, on tekkinud mitmekihiline pinne paksusega 40 mikronit.



Sele 5. Elektrokeemiliselt puhastatud pinde mikrolihv 500-kordse suurendusega: 1 – kroomipinne, 2 – alumiiniumsulam



Sele 6. Kaugustestid, anoodi kaugus katoodist 0,2 cm: 1 – alumiiniumsulam, 2 – niklikiht, 3 – kroomikiht

□ Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärgiks oli leida meetodika, mida saaks rakendada erinevate metalliliikide ühtlaseks katmiseks kroomiga. Pindamistehnoloogiad on väga varieeruvad ning mitmekülgised. Paljud tööstused kasutavad pindamist tavalise järeltöötlusena pihustades kuumtsinki metallile või kattes lõigatud metall vastavasse elektrolüüdi vanni asetades. Parandamise poole pealt tänapäeva globaalses ühiskonnas kasutatakse pindamist vähem kui võiks, kuna lihtsam on osta uus osa masinal, kui see korda teha kasutades pindamist, kuna see nõuab täpseid teadmisi, kogemust ning arusaamist probleemist.

Elektrolüüdi vanne ning lokaalgalvaanikat kasutatakse üsna palju vastavalt suurte osade katmiseks ning osade parandamiseks spetsialiseerunud töökodade poolt. Kui on olemas pikaajalised kogemused ning teadmised, siis on lihtne korrata samu protseduure juba kasutatud vannides vastavalt pinnatavat materjali juurde lisades.

Lõputöö väljundiks oli meetodika väljaarendamine ning see saavutati alumiiniumsulamite ja teraste puhul. Terasel teostatud katsed näitasid, et sirget anoodi kasutades saavutab detail kroomipinde vaid anoodi poole suunatud küljel. Kui detail on ebakorrapärase kujuga, siis tuleb ka vastavalt anoodi kuju muuta. Terasel puhul saab kasutada tugevat hapet, mis puhastab pinna piisavalt, et teostada kroomimist.

Alumiiniumsulamil teostatud katsetest saab järeldada, et kõige tähtsam osa kroomimisel on eeltöötlus. Hea nakke saamiseks tuleb eelnevalt aluspind puhastada roostest ja muudest ebakorrapärasustest. Järgnevalt kasutades lokaalgalvaanikat tuleb puhastada detail oksiidikihist, õlist, rasvast ja mustusest kasutades elektrokeemilist lahust. Kindlasti tuleb teostada märguvustest, et kindlaks määrata ega pindaktiivseid aineid ei ole jäänud detailile. Seejärel pind aktiveerida ning pinnata peale niklikiht. Kroomiga pindamist on võimalik kasutada pingega 5,5 V kõikide väikedetailide puhul. Kõik pinna struktuuri probleemid võimenduvad pinnates, saavutades ühtlase kroomikihi vaid põhjaliku eeltöötlusena.

Käesolevas töös leiti, et saavutada head poleeritud pinnat, tuleb teostada aluskihi poleerimine, niklikihile ning pinnatud kroomikihile. Poleerides ainult aluspind ning kroomitud pind, siis jääb tulemus tuhmim.

Lõpptulemusena leiti, et kõige parema pinde saavutab alumiiniumsulam pärast nikeldamist hoides detaili elektrolüüdi lahuses 5,5 V pingega juures anoodist 0,5 cm kaugusel. Seda meetodikat kasutades saavutati 30 minutit lahuses hoides katse-

kehal 70-mikroniline kroomi pindekiht. Võrreldes teiste testitud anoodi ja katodi vaheliste kaugustega saavutati 0,5 cm juures rohkem kui kaks korda suurem pindekiht.

□ Summary

The aim of the current graduation thesis The Electrolytic Coating Technology for Steels and Aluminium Alloys was to develop a methodology to be able to coat all necessary materials with chrome using electrolysis. There are many different technologies to coat materials and all of them are very variable. Industrial producers of metal often use coatings to give the final layer to the finished product by spraying them with hot zinc or using an electrolyte bath to give the desired finish. Based on this, using coatings as a final layer is sometimes called finishing. In today's global world it is easier to buy new machine products than to use coatings to fix the parts since repairing requires knowledge, experience and understanding of the problem.

Most commonly used coating technologies in repair shops are electrolyte baths for bigger parts that need to get a new layer and brush plating for smaller parts. When workshops have been in the business for a while, it is easier to repeat the same procedures again with already used baths by only adding coating materials every once in a while.

The aim of this graduation thesis is to develop a methodology for chrome electrolysis and it was achieved for aluminium alloys and steel. Tests performed on steel showed that using a straight anode during the electrolysis process will coat only the steel that is facing it directly. If a detail with irregular shape is needed to be plated, then the shape of the anode must also be changed. When using steel, it is possible to clean the part using only acid before chroming.

From performing tests on aluminium alloys, it was discovered that the most important step in chroming is the preparation for plating. To get a good coating, the surface area must be cleaned from dirt and other irregularities. Next, the part brush plated with an electrochemical solution to remove layers of oxide, grease and dirt is used. To make sure the part has been cleaned properly, a water break test must be conducted. After that, the surface layer must be activated and nickelled. Chrome plating can be done using 5.5 V for all small parts. All surface irregularities are amplified and the only way chroming will work is when the preparation is thorough.

It was found that to get a good finish on the detail, the substrate, the nickel and the finished chrome coating must be polished. If only the substrate and

the chrome coating are polished, the end result will be dull.

As the end result, it was found that the best chrome finish for aluminium alloys is achieved by using nickelling before chroming and the detail must be plated at 5.5 V current while remaining at 0.5 cm distance from the anode. By using this methodology it is possible to get a chrome layer 70 microns thick with 30 minutes of plating time. By comparison, the thickness of the coating is over 2 times higher than the other tested distances of anode to cathode.

▣ Viidatud allikad

[1] P. Atkins, L. Jones, Keemia alused : teekond teadmiste juurde, Tartu : Tartu Ülikooli Kirjastuse trükikoda, 2012, p. 1053.

[2] Vikipeedia, "Elektrolüüs," [Võrgumaterjal]. Available: <https://et.wikipedia.org/wiki/Elektrol%C3%BC%C3%BCs>. [Kasutatud 24. Aprill, 2018].

[3] Taskutark, "Elektrolüüs," [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.taskutark.ee/m/elektroluus/> [Kasutatud 28. Aprill, 2018].

[4] Digiõppevaramu, "Elektrivool vedelikes," [Võrgumaterjal]. Available: <https://vara.e-koolikott.ee/taxonomy/term/3781>. [Kasutatud 13. Mai, 2018]

[5] A. Kraav, Tallinna Tehnikakõrgkooli toimetised nr 22, Tallinn: Tallinna Tehnikakõrgkool, 2018, p. 66.

[6] Wikipèedia, "Bauxite," [Võrgumaterjal]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Bauxite> [Kasutatud 24. Aprill, 2018].

[7] Aluminumleader, "What is Aluminum," [Võrgumaterjal]. Available: https://www.aluminiumleader.com/about_aluminium/what_is_aluminum/. [Kasutatud 20. Aprill, 2018]

[8] BS EN 12020-2:2016 Aluminium and aluminium alloys. Extruded precision profiles in alloys EN AW-6060 and EN AW-6063. Tolerances on dimensions and form, London: British standards institute, 2006.

[9] Worldsteel, "About steel," [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.worldsteel.org/media-centre/about-steel.html>. [Kasutatud 16. Märts, 2018]

[10] EN 10025 : 2004 European structural steel standard, Brussels: european committee for standardization, 2015.

[11] Worldsteel, "About steel," [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.worldsteel.org/media-centre/about-steel.html>. [Kasutatud 16. Märts, 2018]

[12] Caswell, The complete plating manual Version 9-E-0113-1, Hampshire: Caswell Europe, p. 173

□ Kaitseväe rõivastuse käitlemise võimalused lähtuvalt ringmajanduse mudelist

Autor: Kristi Suup

Juhendajad: Tallinna Tehnikakõrgkooli rõiva ja tekstiili instituudi professor **Ada Traumann** ja konsultant **Kerli Kant Hvass**

□ Annotatsioon

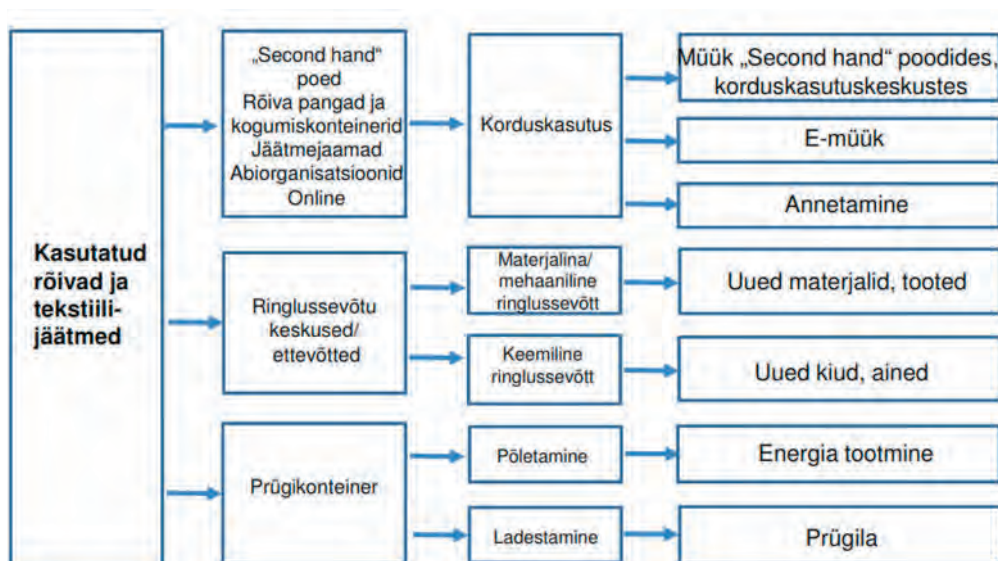
Lõputöö eesmärgiks oli anda ülevaade Eesti kaitseväe sihtotstarbeliselt kasutuskõlbmatuks muutunud rõivastuse käitlemise võimalustest lähtuvalt ringmajanduse mudelist, et vältida jäätmete sattumist prügimäele. Uurimistööks sai välja valitud kõige suurema tonnaažiga tooteid nagu talvine välivorm, vihmaülikond, maskeerimisülikond ja saapad.

Töös annab autor ülevaate kasutuskõlbmatute tarbijajärgsete tekstiiljäätmete käitlemise võimaluste kohta, tutvustab sihtotstarbeliselt kasutuskõlbmatuks muutunud armeerõivastuse näiteid maailmast, annab ülevaate Eesti kaitseväe rõivastusest ja selle käitlemise jätkusuutlikkusest ning analüüsib jäätmete käitlemise viise ja püüab leida võimalikke lahendusi nende parendamiseks.

□ Sissejuhatus

Oleme jõudnud olukorda, kus ringmajanduse temaatika muutub üha enam aktuaalsemaks

ning samuti tõuseb olulisus muutmaks asutuste ja ettevõtete tootmine ressursitõhusamaks. Samuti tõstatub üha enam ühiskonnas päevakorda temaatika, mis puudutab keskkonda vastutustundlikuma suhtumise loomist. Keskkonnaküsimused mõjutavad aina enam kogu ühiskonda ning on muutunud seeläbi aktuaalseks. Keskkonnateadlikkus on ühiskonnas tõusuteel. Siinkohal on küsimus selles, kuidas teha antud protsessid mõisteta- vaks ettevõtetele ja asutustele ning tekitada neis rohkem huvi ja kaasamist, tuues seejuures välja nendepoolse kasumlikkuse. Tekstiiliringlus hõlmab endas tekstiilide võimalikult pikaajalist kasutust ja nende eluea lõppfaasis uuteks toodeteks ja materjalideks ümbertöötlemist. Tekstiiliringlus sisaldab ka tootmisjärgse tekstiili uuskasutust ja ümbertöötlemist. Järgneval joonisel (Joonis 1) on selgitatud kasutatud rõivaste ja tekstiiljäätmete käitlemise võimalusi [1]. Tekstiiliringluses tuleb rohkem keskenduda tekstiilikiudude taastamisele ja nende taaskasutusele. Tekstiilikiudude taaskasutust võib pidada üheks esimeseks sammuks vastutustundlikuma käitumisladi tekkimises.



Joonis 1. Võimalused kasutatud rõivaste käitlemiseks [1]

Tekstiilkiude on võimalik tarbijajärgsest kaubast saada nii mehaaniliselt kui ka keemilise töötlemise tulemusena. Saadud tekstiilkiude võib kasutada erinevate produktide tootmiseks nii autotööstuses, isolatsioonimaterjalides, üldehitusel kui ka teedeehitusel [2].

Protsessid ringluse tekitamiseks tekstiilitööstuses nõuavad juba olemasoleva tegutsemise viisi ümberorganiseerimist, mis on aeganõudev ning nõuab kannatust ja ka huvi. See on üheks põhjuseks, miks vaid vähesed ettevõtted on keskendunud oma opereerimises jätkusuutlikkusele. Samuti ei osata leida alguspunkti ega kasu ettevõttele endale. Maailmas on siiski ettevõtteid, mis on sellele suunitletud, näitena võib välja tuua Patagonia, Pure Waste'i ja Globe Hope'i.

□ Materjal ja metoodika

Antud uurimistöös kasutatakse teoreetilise osa loomiseks, informatsiooni hankimiseks, analüü-

simiseks ning järelduste tegemiseks tekstiiljätmete ümbertöötlemist, taaskasutamist ning jätkusuutlikku tarbimist käsitlevaid teadusartikleid, veebilehti ja raamatuid.

Töö empiirilises osas on läbi viidud kvalitatiivne uurimus, mille käigus on teadmiste kogumise instrumendina kasutatud selle ala spetsialiste ja eksperte, kellega toimusid kohtumised ja arutelud. Eesmärgini jõudmiseks on töö autor püüanud järgmised uurimisülesanded:

- selgitada välja kasutuskõlbmatute tarbijajärgsete tekstiilide käitlemise võimalused;
- anda ülevaade Eesti kaitseväge rõivastusest, selle olemuse jätkusuutlikkusest ja tarbimisest;
- viia läbi uuring tekstiiljätmete optimeerimiseks kaitseväes ning informatsiooni hankimine seotud ettevõtetest ja asutustest;
- analüüsida kogutud andmeid ning teha ettepanekuid kasutuskõlbmatuks muutunud kaitseväge rõivastuse käitlemise viiside kohta.



Joonis 2. Kulunud vormipüksid, digimustriga



Joonis 3. Määrduvad ja kulunud vormipüksid

Uurimistöös on selgitatud tekstiiljätmete tekkimise situatsiooni, sellega kaasnevaid probleeme ning tehtud ülevaade hetkeolukorrast tööriivastuse ringluse jätkusuutlikkuses, kus liigutakse lineaarsest majandusmudelist üle ringmajandusele. Euroopa rõivastuse tegevuste plaani (European Clothing Action Plan, ECAP) peamiseks eesmärgiks on rõivatööstuste keskkonnamõju vähendamine läbi koostöö, mõõtmiste ning praktiliste lahenduste [3].

Läbiviidud uuring tutvustab Eesti kaitseväe olemust, tekstiiljääkide tekkimist ja tekstiili jätkusuutlikkust kaitseväes ning annab ülevaate suurima tonnaažiga toodetest. Järgnevatel fotodel on näha vormirõivastuses pükste kasutamise tekkimise peamised kulumise kohad, mis muudavad toote kasutuskõlbmatuks ning on tekkinud olukord, kus parandamise võimalus läheb liiga ressursikulukaks ning vajab teisi lahendusi (Joonis 2, Joonis 3).

Maailmast võib tuua juba mitmeid näiteid, kus on kasutatud kaitseväe rõivastuse taaskäitlemiseks erinevate disainerite ideid (Christopher Raeburn – Inglismaa, Globe Hope – Soome, Myar – Itaalia, Maharishi – Inglismaa). Ühe olulisema näitena saab välja tuua Hollandi kaitseministeeriumi projekti, mille eesmärgiks oli kaasata protsessi terve tootmis- ja tarbimisahel. Projekt hõlmas endas 2012-2016 aastal ringhanke ja tagastuse kontrollprotsessi, mille eesmärgiks oli vanast sõjaväearvustusest uue toormaterjali saamine. Ning hiljem uute toodete valmistamine, kasutades materjalides vähemalt 10% ulatuses taaskasutatud kiude. 2016. aastal alustas ringmajandusettevõtte koostööd rõivaste kogumise ja kiuks ümbertöötlemise ettevõttega, et kasutatud Hollandi sõjaväearvustus ümber töödelda tekstiilkiududeks. Koostöö idee seisnes selles, et näidata turule, et kasutatud tööriivastusi saab ümber muuta uuteks ja kõrgkvaliteetseteks toodeteks samal ajal märkimisväärselt keskkonda säästes. [4]

Töö protsessi käigus teostati analüüs Eesti kaitseväe tekstiiljätmete jätkusuutliku tarbimise kohta ka Eestis, sisaldades kaitseväe vormirõivaste ja saabaste taaskasutamise võimalusi. Ühena võimalustest kasutavad kaitseväelased kulunud vormirõivaid varjevõrkude tegemises, puhastuslappideks ning mannekeenide täitmiseks, kuid see on vaid minimaalne osa tekkinud jätmetest. Lisaks alustati 2017. aasta novembris koostööprojektiga Eesti Kaitsetööstuse Liidu ja Eesti Kunstiakadeemia vahel, millega ühendatakse omavahel tootmisettevõtted, ülikoolid ja jõustruktuurid. Tulemusena peaksid valmima prototüübid, mis on tehtud ettevõtete jätmetest, samuti proovitakse projekti

raames suunata ettevõtteid ja asutusi ringmajandusele. Samuti küsitleti arvamust Eesti disaineritelt, kas nad näevad lahendusi antud vormide taaskasutuseks. Eelnevalt on Lentsius Design poolt loodud jätkusuutlik mantli ja kotikollektsioon vanadest armee telgi ja vormirõivaste kangastest ning nüüd uuriti võimalusi ja huvi jätkata projektidega. Lisaks teostati küsitlus nahadisaineriga, kas ollakse valmis ning oleks võimalik kasutada oma disainis kasutuskõlbmatuks muutunud kaitseväe nahksaapaid, mis oleks toormaterjali puhul oluline ning millisena ta näeks tootmist ning müügiturgu.

■ Tulemused ja arutelu

Kaitseväe rõivastuse kasutuskõlbmatuks muutumisel on tegu tarbijajärgsete tekstiiljätmetega, millele puuduvad hetkeseisuga keskkonnasõbralikuks käitlemiseks optimaalsed lahendused.

Analüüsides hetkelist olukorda majanduses oleks autoripoolne ettepanek liikuda rõivaste hankimise protsessides üle ringhangetele, et juba toote loomise protsessis oleks teada, mis saab konkreetsest tootest peale tema tarbimisaja lõppemist. Samuti on ühese ideena välja toodud ka hankese konkreetsema nõude esitamine, milleks oleks tootjale tagastamine. Võimalus oleks ehitada hange üles renditeenusele, pakkudes Eesti kaitseväele kui hankijale laopinda, toodete hooldamist ning tarbijajärgset käitlemist, tekitades sellise käitumismalliga ka tootjale vastutustunnet. Ringmajanduse protsesside rakendamine kaitseväes hoiaks kasutuskõlbmatuks muutunud vormirõivad ringluses ka uue toormaterjalina ning terve ahela kaasamisega oleks prügilasse ladestamine minimaalne. Sellest lähtuvalt oleks tarvidus lisada ka riigihangetesse vastavaid punkte, kus uus kaitseväe rõivastus peaks sisaldama teatud mahus taaskasutatud kiude. Vormirõivaste ümbertöötlemist kiuks mehaanilisel teel võib seega lugeda realselt lahendatavaks, kuid vajab veel täpsemaid uuringuid kindlate koostööpartnerite leidmiseks ning kitsaskohtade kõrvaldamiseks seadustes ja määrustes.

■ Järeldused ja kokkuvõte

Probleemina tõstatati Eesti kaitseväes tekkivate tekstiiljätmete käitlemise viisid, tuues näidete-na välja kõige suurema tonnaažiga tooted: talvine välivorm, vihmaülikond, maskeerimisülikond ja saapad. Need annavad ülevaate toodete iseloomuomadustest ja koostisest, leidmaks sobivaid võimalusi keskkonnasäästlikumaks käitlemiseks, ümbertöötlemiseks kiuks, tootjavastutuse rakendamiseks või disainiks.

Tegu on olulise teemaga nii riigi kui ka globaalse maailmavaate seisukohalt, millega tuleks tegeleda igapäevaselt. Siinkohal on olulisel kohal ettevõtete ja asutuste hulgas teavitustöö läbiviimine ning suunamine ringmajanduse mudelile. Eesmärgiks on vähendada jäätmeteket nii asutuste kui ka ettevõtete siseselt ning sellega koos tutvustada nende endi ressursside optimaalsemat kasutust. Seoses kiirelt muutuva ühiskonnaga on vaja käia kaasas muutuvate suundadega maailmas, liikudes ringmajanduse suunas. Muutuste teostamine antud valdkonnas on äärmiselt oluline, et mitte maha jääda maailma arengust ning liikuda kaasa eesmärkidega elukeskkonna puhtamana säilimise nimel. Lähtuvalt Kaitseväge varustuse pidevast arendamisest ning vastupidavamaks muutumisest on tekitatud visioon viia maha kantavate toodete maht 20-25 tonnile aastas praeguse ligikaudu 60 tonni asemel.

Kuna tulevikuvaates on vajadus tekstiiljätmete eraldi sorteerimise järele, mitte osana olmeprügist, siis peaks olema teada võimalused, milliseid lahendusi saaks kasutada. Oluline on luua kontaktvõrgustikud ja leida koostööpartneid, kellele suunata jäätmeid edasi ning kitsaskohad, mis tulenevad seadustest peaksid olema kõrvaldatud. Autori arvates oleks üks olulisemaid etappe ringmajanduse sissetoomine ka tekstiivaldkonda ja avalikku sektorisse. See tähendaks suuri muudatusi ühiskonnas ning oleks toiming, mis annaks suure panuse keskkonna säilimise nimel.

■ Summary

The aim of present graduation thesis "Possibilities for Handling Garment Waste of the Estonian Defence Forces According to the Circular Economy Mode" was creating a more responsible attitude towards environment. It is an important topic in today's society. Environmental issues are increasingly affecting the society as a whole and have become a hot topic. Because of that environmental awareness in the society is on the rise. The question lies in how to make these processes more understandable to companies and institutions and how to catch their interest and involvement through highlighting their profitability. Responsible environmental behaviour includes several factors: natural resources, human resources and the optimal use of the revenue generated.

Recycling processes in textile industry require restructuring of the already existing mode of operation, which is a time-consuming process and requires patience and interest. Therefore only a few companies have focused on sustainable operations. It is very common that people are not able

to find a starting point and enough benefit to the company itself. However, there are already companies in the world who are focused on it, for example Patagonia, Pure Waste and Globe Hope.

The aim of this study was to examine the Estonian Defence Forces textile waste formation and the problem of handling them. The majority of the textile waste is handed over to a waste management company after a successful offer from the public procurement, but the rest of the waste remains unrecycled for the institution. The centre of the problem lies in uniforms as post-consumer waste that can no longer be used for specific purposes, but would still need more environmentally friendly solutions for waste generation. State authorities should set an example for private sector companies, how to work resource efficiently and minimize waste generation.

The purpose of the graduation thesis is to give an overview of the possibilities of handling clothes that have become unsuitable for use in the Estonian Defence Forces on the basis of the circular economy model and to make suggestions for the prevention of waste entering the landfill. Examples are the products with the highest quantity listed below:

- winter outdoor uniform;
- raincoat;
- camouflage suit;
- boots.

The author gives an overview of the possibilities of handling unusable post-consumer textile waste, introduces examples of unusable military clothes around the world, gives an overview of the Defence Forces' clothing and sustainability in the Defence Forces, analyses the ways of handling waste and seeks to find possible solutions to the problem.

Research articles, web pages and books about recycling, reuse and sustainable consumption of textiles are used to create the theoretical part of the thesis in order to obtain information, analyse and draw conclusions.

Qualitative research has been carried out in the empirical part of the work, where experts and specialists in the field have been interviewed. To reach the objective of the thesis the author has set the following topics:

- identify the possibilities for handling unusable post-consumer textiles;
- provide an overview of the clothing of the Defence Forces, the sustainability of its nature and its consumption;
- conduct a study to optimize the textile waste in the Defence Forces and obtain information from related companies and institutions;
- analyse the data collected and make suggestions

on the way of handling the unusable clothing of the Defence Forces.

Analysing the results, the author has found that the retrieval and recovery solutions by public authorities such as the Defence Forces are essential. It allows to set an example in a particular sector in a global perspective. In the author's opinion, one of the most important stages would be significant changes in the introduction of community life in the textile segment and in the public sector as well. It would be an act that would greatly contribute to preserving the environment.

▣ Viidatud allikad

- [1] H. Moora, Tekstiilijäätmete teke ja kogused. Võimalused tekstiiljätmete käitlemiseks., Tallinn: Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus, 2018.
- [2] Anton Luiken, Martin Havik, Spinning of recycled fibers An inventory, MODINT, Peter Koppert, 2016.
- [3] Rijkswaterstaat Ministry of Infrastructure and the Environment, „Public procurers can benefit from sustainable approach to work wear,” 2017. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.ecap.eu.com/wp-content/uploads/2018/01/Embedding-Circular-Procurement-in-purchasing-of-workwear.pdf>. [Kasutatud 29. aprill, 2018].
- [4] Circle Economy, „Cloing the loop, 3 Case Studies Highlighting the Potential Impact of High-Value Textile-to-Textile Recycling,” 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.circle-economy.com/wp-content/uploads/2017/01/ReShare-Life-Cycle-Assessment-Results.pdf>. [Kasutatud 21. aprill, 2018].

□ Riigimaanteedel 2017. aastal teostatud plaatkoormus-katsete praktika analüüs ja teiste riikide kogemused

Autor: Gerhard Markus Trumm

Juhendaja: Tallinna Tehnikakõrgkooli ehitusinstituudi lektor Mati Toome

□ Sissejuhatus

Plaatkoormuskatse on erinevates välisriikides olnud kasutusel aastakümneid, kuid Eestis ei ole see katse levinud. Kõikidel teedehitus objektidel on tänapäeval kasutuses kerge langeva raskusega seade kandevõime mõõtmiseks, millele on vastavalt tee konstruktsioonikihile ka omad nõuded esitatud.

Uuringu eesmärgiks oli Eestis 2017. aastal ehitavate rekonstrueerimisobjektide kandevõime ning tihedustegurite mõõtmise defektide vähendamise eesmärgil ning tulemuste võrdlemine välisriikide nõuetega. Töö käigus on tehtud ettepanekuid muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise nõuete väljatöötamiseks ning on välja toodud indikaatiivsed nõuded plaatkoormuskatsele erinevatel kihtidel.

□ Plaatkoormuskatse

Alates 2017. aastast on kohustuslik kontrollida tee-ehitusobjektidel muldkehal ja drenkihil kandevõimet plaatkoormuskatsega standardi EVS 934:2016 kohaselt (Eesti standard plaatkoormuskatsele). Plaatkoormuskatsega (Foto 1) määra-

takse vajumi sõltuvust koormusest, ning saadud graafiku alusel määratud deformatsioonimooduli EV ja aluse reaktsioonimooduli ks abil hinnatakse pinnaste deformeeritavust ja tugevust. Deformatsioonimooduli EV määramiseks tehakse vähemalt kuus koormamist (Foto 2), kasutades 300 mm, 600 mm või 762 mm (lennuväljadele) läbimõduga koormusplaati. [1]

Plaatkoormuskatse eeliseks on see, et katset võib teostada väga erinevate pinnastega – jämeda- ja segateralistega, samuti sitke kuni kõvade pinnastega, tihedate peeneteralistega. Tuleb jälgida, et koormusplaati ei asetataks vahetult teradele, mille suurus ületab neljandiku plaadi läbimõödust. Kiiresti kuivava ühtlaseteralise liiva, pinnakooriku moodustanud pinnase, pehmenenud või muul viisil rikunud pealispinnaga pinnase puhul tuleb selline rikunud kiht enne katse läbiviimist eemaldada. Katsetatava pinnase tihedus tuleb säilitada võimalikult muutumatuna. [1]

Väga peeneteralistel pinnastel (näiteks liivsavi, savi) saab katset teha ja tulemusi rahuldavaks hinnata ainult juhul kui pinnase konsistents on vahemikus sitkest kõvani. Kahtluse korral tuleb katsetatava pinnase konsistents määrata eri sügavustel. [1]



Foto 1. Plaatkoormusseade



Foto 2. Ekskavaator seadme vastukoormuseks

Tabel 1. Esitatavad nõuded

Nõuded kihi pinnale		Klass SV, I-IV, (V)		Klass V, VI ja muud	
		$E_{V2}, \text{MN/m}^2$	E_{V2}/E_{V1}	$E_{V2}, \text{MN/m}^2$	E_{V2}/E_{V1}
Alus	Kruus $\geq 20 \text{ cm}$	≥ 150	$\leq 2,2$	≥ 120	$\leq 2,5$
	Kruus $\geq 25 \text{ cm}$	≥ 180	$\leq 2,2$	≥ 150	$\leq 2,5$
	Killustik $\geq 15 \text{ cm}$	≥ 150	$\leq 2,2$	≥ 120	$\leq 2,5$
	Killustik $\geq 20 \text{ cm}$	≥ 180	$\leq 2,2$	≥ 150	$\leq 2,5$
Külmakaitsekiht kuni 0,2 m	Kruus GW, GI ja tehisiiv, killustik ning sidumata segud 0/5 kuni 0/56	≥ 120	$\leq 2,2$	≥ 100	$\leq 2,5$
	Kruus GE ja liiv SE, SW, SI	≥ 100	$\leq 2,5$	≥ 100	$\leq 2,5$
Muldkeha	Kõik	≥ 100	$\leq 2,5$	≥ 100	$\leq 2,5$
Aluspinnas		≥ 45	-	≥ 45	-

Erinevalt teistest levinud katsetest on plaatkoormuskatse aeganõudvam ning lisaks sellele nõuab masinapargist kasutamist ja liikluskorralduse muutmist. Olenemata kõigest nende katsete tegemine on pikemas perspektiivis Eesti maanteed arengule kasulik.

Teiste riikide nõuded

Uuringus on väljatoodud ülevaade Saksamaa, ning põhjamaade: Soome, Rootsi ja Norra normatiivide kohta.

Saksamaal kasutatakse plaatkoormuskatsete läbiviimiseks Saksa standardimisorganisatsiooni poolt välja töötatud standardit DIN 18134. Eesti standard EVS 934:2016, mis käsitleb plaatkoormuskatse meetodit on standardi DIN 18134 tõlge. Saksamaa standardikohaselt on töövõtja poolt enesekontrolliks teostatav katsete maht 1 katse iga 1000 m² mõõdetava kihi kohta aluspinnasel. Samuti saab kasutada plaatkoormuskatset ka tihendusastme määramiseks [2]. Nõuded kihi pinnale vastavalt Saksamaa standardile on toodud alljärgnevas tabelis, kus on näha liigitamist nii pinnaste kui ka konstruktsiooni kaupa (Tabel 1).

Tabel 3. Nõuded tihendusteguritele

Kandevõime, MPa	Tihendustegur E_2/E_1
<145	$\leq 2,0$
146...159	$\leq 2,1$
160...174	$\leq 2,2$
175...189	$\leq 2,3$
190...204	$\leq 2,4$
205...219	$\leq 2,5$
220...234	$\leq 2,6$
≥ 235	$\leq 2,7$

Soomes katse teostamine toimub vastavalt InfraRYL 2010 nõuetele, kus esitatakse nõudeid jageva kihi (mulde) tihendustegurile, mis sõltub ka tee kandevõimest ning on esitatud ka eraldi nõuded kandva kihi (aluse) tihendusteguritele on leitavad järgmises tabelis (Tabel 3).

Norra normide järgi rakendatakse kandevkihile (alus) plaatkoormuskatsete korral nõuet $E2 \rightarrow 150$ MPa ning $E2/E1 \leq 2.5$. Kruusast ja liivast rajatavate kihtide puhul (muldkeha) on vastavad nõuded $E2 \rightarrow 120$ MPa ning $E2/E1 \leq 3.5$. [3]

Rootsi normatiivide Metodbeskrivning 606:1993 järgi plaadi koormamine toimub teatud sammudega. Sisuliselt on selline meetod kõige lähedasem Eestis kasutatavale. Sarnaselt Saksa juhenditele kirjeldatakse ka Rootsi juhendites statistilist vastuvõtumeetodit, aktsepteerides üksikkatsetel mõningaid hälbeid.

□ Katsetulemuste hindamine

Uuringu andmed on mõõdetud ning kogutud 2017. aasta kevad-sügis perioodil. Kokku on 338 katsetulemust 17 objektilt üle Eesti, mida kõrvutati selle töö käigus geoloogiliste puurimiste andmete abil, nendest 246 katset oli tehtud muldkehalt, 51 dreentkihtilt ning 41 aluselt. Joonisel 1 on kajastatud plaatkoormuskatsete keskmised näitajad.

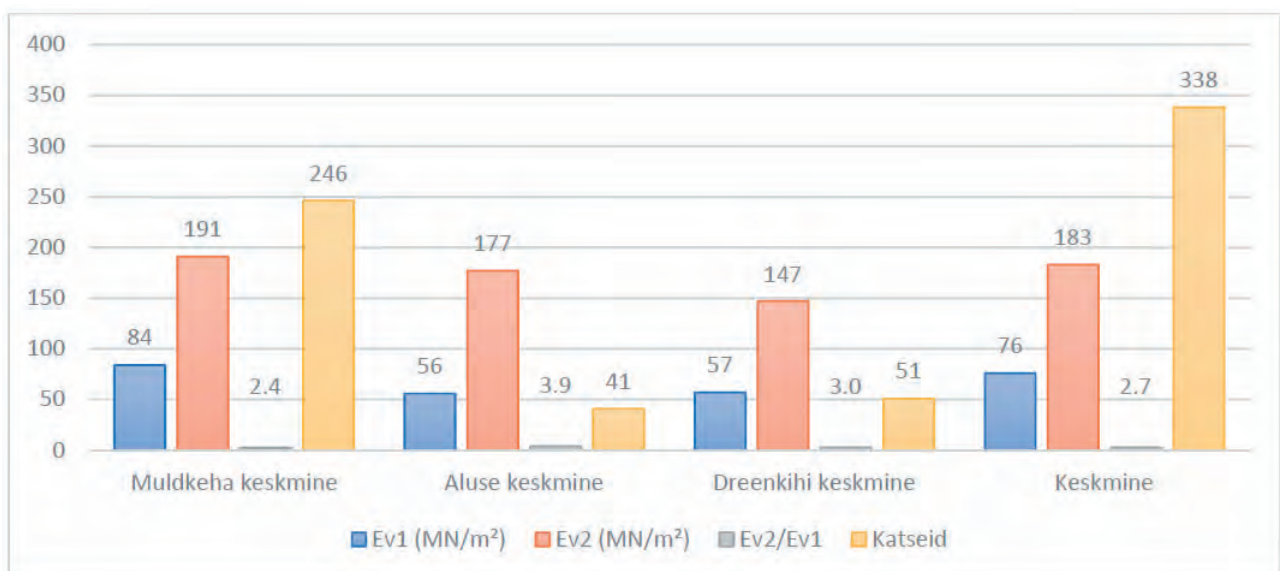
Muldkehalt tehtud katsed olid enamasti teostatud juba olemasolevalt konstruktsioonikihtilt, kust kate oli eelnevalt eemaldatud. Esimese koormustsükli deformatsioonimoodul EV1 oli keskmiselt 83 MPa, teise koormustsükli deformatsioonimoodul EV2 =

186 MPa ja suhtarv $EV2/EV1 = 2,4$. Olenemata asjaolust, et plaatkoormuskatsetid oli ettenähtud teostada muldkehal või dreentkihtil tehti neid omajagu ka alusel. Alusel saadud keskmine deformatsioonimoodul EV1 tulemus oli 56 MPa, teise koormustsükli deformatsioonimoodul EV2 = 177 MPa ja $EV2/EV1 = 3,9$. Dreentkihtil vastavalt 57 MPa, 147 MPa ning 3,0 (Joonis 1). [3]

Pinnase ja materjalide tiheduse hindamine toimus suurema vastupanuvõimega pinnastega, kus deformatsioonimooduli EV1 väärtus ulatub kuni 60% tabelis (Tabel 2) toodud EV2 väärtusest, ning on suuremad suhtarvu $EV2/EV1$ väärtused lubatud. Juhul kui liiv- ja kruuspinnaseid kasutatakse tee konstruktsiooni külmakaitse kihi ülaosas, peavad need olema tihendatud vastavaks Proctor tihendustasemele $DPr = 100\%$. [3]

Järgnevalt tuuakse välja plaatkoormuskatsete keskmised EV1, EV2 ja $EV2/EV1$ tulemused objektide ja kihtide kaupa (Joonis 2, Joonis 3 ja Joonis 4). Nagu erinevatelt objektidelt kogutud andmetest näha võib, on muldkehadel tehtud katsete tulemused küllaltki erinevad. Seda nähtust toetab asjaolu, et kolmelt erinevalt kihilt enim tehti katsetid muldel. Dreentkihi puhul on näha, et tulemused jagunevad selgelt kaheks. Teed #55 ja #11260 on oluliselt paremate resultaatidega, kui seda on #10 ja #38. Kogemuse põhjal võib öelda, et üks paremate tulemuste põhjuseks võib olla fakt, et dreentkiht oli juba pikemat aega olnud killustikaluse all. See tähendab, et liivast dreentkiht oli saanud tihendamist ka läbi aluse. Sarnaselt dreentkihile on aluse katsete tulemused üpriski võrdselt jagunenud pigem headeks ja pigem kehvamateks. [3]

Joonis 1. Katsete keskmised tulemused kihtide kaupa



Pinnase liik	D_{Pr} , %	E_{v2} , MN/m ²	E_{v2}/E_{v1}
Kruuspinnased GW, GI ($C_u > 6$)	≥ 100	≥ 100	$\leq 2,3$
	≥ 98	≥ 80	$\leq 2,5$
	≥ 97	≥ 70	$\leq 2,6$
Kruuspinnas GE ($C_u < 6$) ja liivpinnased SE, SW ja SI	≥ 100	≥ 80	$\leq 2,3$
	≥ 98	≥ 70	$\leq 2,5$
	≥ 97	≥ 60	$\leq 2,6$

Tabel 2. Pinnase ja materjalide tiheduse hindamine

Antud tulemuste säärast varieeruvust võib seletada asjaolu, et osad lõigud, kus katseid tehti võisid kihid olla veel lõplikult tihendamata. Mitmetel objektidel oli näha, et katsekohtade läheduses profileeriti ning tihendati pinnaserullidega. Lisaks eelnevale mängib kindlasti ka suurt rolli konstruktsioonides kasutatavad materjalid, nende ja aluspinnase niiskustase ning aluspinnases esinevad materjalid. [3]

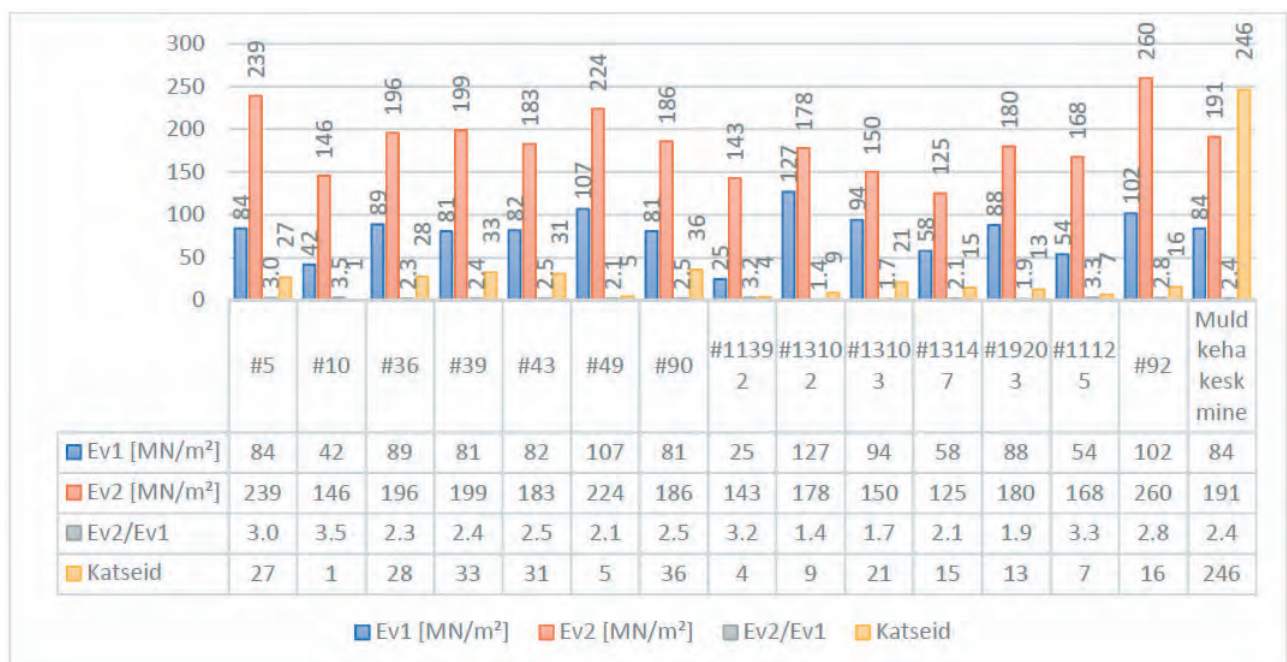
□ Tulemuste seostamine geoloogia andmetega

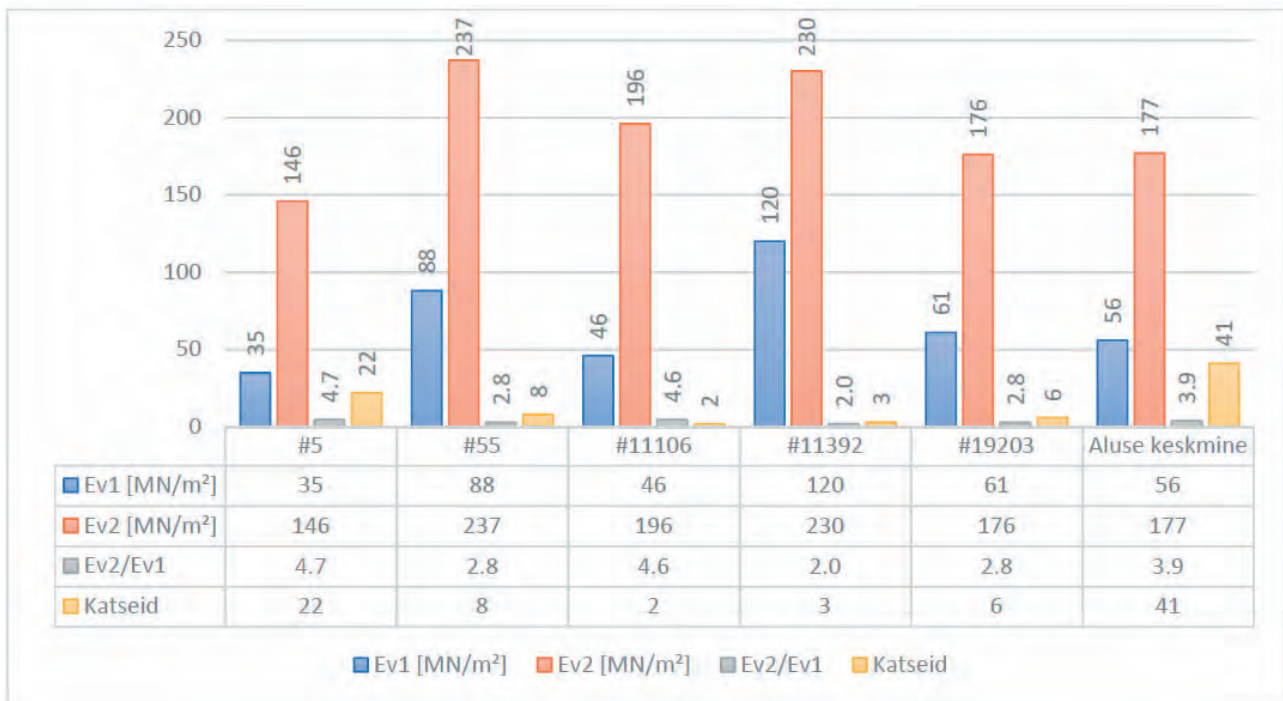
Peale tulemuste kõrvutamist objektide ja kihtide järgi uuriti ka muldkehal teostatud plaatkoormuskatsete tulemuste seost geoloogia andmetega. Katsete tulemusele lisati lähima kuni 100 m raadiuses asuva geoloogilise puurimise tulemused. [3]

Vähemal määral leidus katsekohti, mis asuvad geoloogiliste puurimistega samal piketil. Nendes andmetes oli näha, et aluspinnases esinevad sellised materjalid, mis võivad sõltuvalt veerežiimist täiesti erinevalt käituda, nt muld, savine kesk-liiv, rohke liivaga savikas kruus. Sellised materjalid võivad mõjutada kandevõime ja tiheduse tulemusi muldkeha, drenkihi ja aluse peal. Enamus geoloogia andmeid pärinevad plaatkoormuskatse läbiviimise kohast kaugemal kui paar meetrit. See tähendab, et katsepunktide all oleva aluspinnase ja geoloogiliste tulpade vahel paiknevate pinnasekihtide paksused ja materjalide koosseis võib olla erinev ning aluspinnases olevad materjalid võivad tegelikkuses veidi muutuda, sest geoloogia andmed ei hooa rohkem infot, kui puuraugu mõõtmised võimaldavad. [3]

Käesoleval juhul geoloogiliste uuringute andmed ei anna kindlat seletust madalate kandevõime tulemuste kohta. Parema ja usaldusväärsema tu-

Joonis 2. Muldkeha keskmised tulemused objektide kaupa [3]





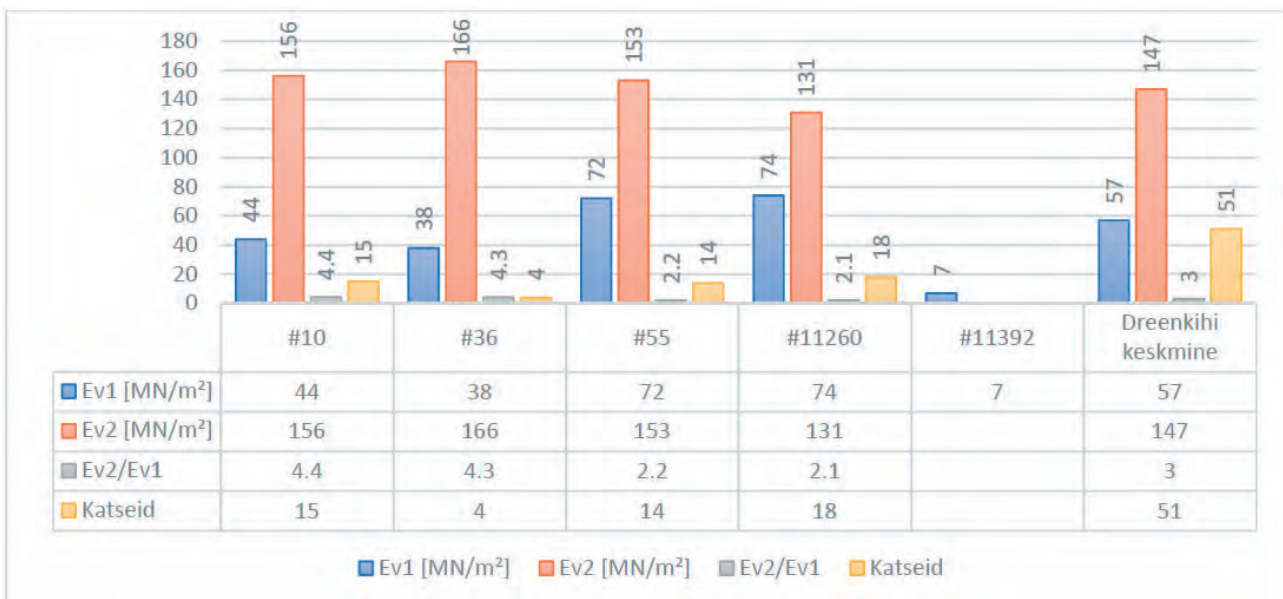
Joonis 3. Aluse keskmised tulemused objektide kaupa [3]

lemuse saavutamiseks tuleks geoloogilised mõõtmised ning plaatkoormuskatsed teha koostööna, milles esmalt tehakse kandevõime testid ning seejärel samades kohtades geoloogia uuringud. [3]

Kokkuvõte

Tutvustatud uuringu eesmärgiks oli teha ettepanekuid muldkeha ja drenikihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise nõuete väljatöötamiseks, et parandada Eesti teede kvaliteeti. Töö käigus võrreldud andmeid on koheselt keeruline püsivateks nõueteks vormistada, sest andmed on kohati

lailivalguvad ning mitte alati üheselt mõistetavad. Üks lahendus, mis parandaks tulemuste võrreldavust plaatkoormuse omadega, oleks teha katsetel koostööd näiteks geoloogidega. Kindlasti tuleks katsete tegijatel täita põhjalikumalt katseprotokolle, kuna mõnedes esines puudusi või sisaldus eksitav info. Informatsiooni korrektne protokollimine aitab paremat hinnangut anda sarnaste uuringute tegemisel. Välja toodud plaatkoormuskatse nõuded muldkehale, drenkihile ja alusele ning tingimused tuginevad Saksamaa omadele ning on indikaatiivsed. Soovituslik oleks neid nõudeid ehitusobjektidel rakendada, kuid mitte arvestada esialgu neid kihtide vastuvõtmisel. Siiani tehtud tööd tuleks võimalusel edasi jätkata.



Joonis 4. Dreenikihi keskmised tulemused objektide kaupa [3]

□ Summary

The research introduces an analysis of plate load test practice on state roads in Estonia in 2017 and brings out some experience of foreign countries, geological data summary and extra measurements information. The goal of this research is to improve the quality of Estonian roads.

Research data is based on 338 measurement results from 17 different sites all over Estonia, unfortunately in previous test results inconsistent information has been given. In order to improve test results, it is recommended to join geological drilling operations and test plate load measurements on the locations.

As a result, indication requirements for the structural road layers in Estonian conditions were worked out. These stipulations are based on Germany's normative documentations and practices. The requirements are recommended to be used on road construction sites for load bearing measurements as a reference, but should not be used as acceptance requirements. It is recommended to carry on with the research.

□ Viidatud allikad

[1] EVS 934:2016 Pinnas Katsemeetodid ja katse-seadmed Plaatkoormuskatse, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2016.

[2] Anix GmbH, „New generation of static plate loading apparatus,“ Barbleten.

[3] M. Truu, G. M. Trumm, V. Tikas ja K. Kütt, „Mulde kandevõime ja tihendusnõuete kontrollimetoodikate arendamine kasutamiseks riigimaanteedel rekonstrueerimisel ja ehitamisel,“ Tallinn, 2017.